

**VALIDACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ALCALINIDAD, CLORUROS Y DUREZA
EN EL AGUA TRATADA Y CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
EMPOCABAL (SANTA ROSA DE CABAL)**

MARIA JULIANA FERNANDEZ VALLE

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE QUIMICA
PROGRAMA DE QUÍMICA INDUSTRIAL
PEREIRA
2012**

**VALIDACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ALCALINIDAD, CLORUROS Y DUREZA
EN EL AGUA TRATADA Y CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
EMPOCABAL (SANTA ROSA DE CABAL)**

MARIA JULIANA FERNANDEZ VALLE

TRABAJO DE GRADO

Requisito final para optar al título de Químico Industrial

Director:

EDWIN JHOVANY ALZATE RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE TECNOLOGÍAS

ESCUELA DE QUÍMICA

PROGRAMA DE QUÍMICA INDUSTRIAL

PEREIRA

2012

NOTA DE ACEPTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO
VALIDACIÓN DE LOS ENSAYOS DE ALCALINIDAD, CLORUROS Y DUREZA
EN EL AGUA TRATADA Y CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
EMPOCABAL (SANTA ROSA DE CABAL)

Presentado por:
MARIA JULIANA FERNANDEZ VALLE

Los suscritos director y jurado del presente trabajo de grado, una vez realizada la versión escrita y presenciado la sustentación oral, decidimos otorgar:

La nota de -----

Para constancia firmamos en la ciudad de Pereira hoy:

Director: EDWIN JHOVANY ALZATE RODRIGUEZ

Firma: -----

Jurado: CARLOS ALBERTO LONDOÑO

Firma: -----

AGRADECIMIENTOS

- ❖ A Dios todo poderoso por haberme permitido terminar el presente trabajo con éxito y así poder culminar mi carrera.
- ❖ A mi familia por su comprensión, su cariño e incondicionalidad, además por haberme enseñado que todo en la vida requiere esfuerzos y dedicación.
- ❖ A Edwin Jhovany Álzate Rodríguez por todo el tiempo dedicado y por sus conocimientos compartidos.
- ❖ A Empocabal, por permitirme desarrollar mi proyecto de grado, en especial a Carlos Alberto Londoño quien me aportó todo su conocimiento y me apoyo permanente.
- ❖ A todos lo docente que a lo largo de la carrera cooperaron con mi formación como profesional.
- ❖ A Vicky, Javier y Germán por todas sus colaboraciones.
- ❖ A todos mis amigos y compañeros por su apoyo, colaboración y amistad brindada

TABLA DE CONTENIDO

1. JUSTIFICACIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3. OBJETIVOS.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	14
4.1 EMPOCABAL	14
4.1.1 ¿QUIÉNES SOMOS?.....	14
4.1.2 MISIÓN	14
4.1.3 VISIÓN	14
4.1.4 POLÍTICAS DE CALIDAD.....	15
4.1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD.....	15
4.1.6 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA.....	16
4.1.7 PROCESOS	17
4.1.8 PROCESOS ADMINISTRATIVOS.....	17
4.1.9 PROCESOS TÉCNICOS ..	17
4.2 AGUA.....	18
4.2.1 DESBASTE.....	19
4.2.2 DESARENADO	21
4.2.3 COAGULACIÓN.....	22
4.2.4 FLOCULACIÓN.....	24
4.2.5 SEDIMENTACIÓN.....	25
4.2.6 FILTRACIÓN.....	26
4.2.7 DESINFECCIÓN.....	27
4.2.8 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA.....	28
4.2.8.1 Características físicas.....	28
4.2.8.2 Características químicas.....	29
4.2.8.3 Características microbiológicas	31
4.3 VALIDACIÓN.....	32
4.3.1 PARÁMETROS DE LA VALIDACIÓN	32
5. MARCO LEGAL.....	35
6. METODOLOGÍA	36
6.1 Muestras de análisis	36
6.2 Estándares.....	36
6.3 Método de análisis	36
6.4 Preparación de muestras	37
6.4.1 Preparación de muestras para la alcalinidad	37
6.4.2 Preparación de muestras para los cloruros.....	37
6.4.3 Preparación de muestras para la dureza.....	38
6.5 Establecimiento de las curvas de calibración	38
6.5.1 Preparación de las muestras para la curva de calibración de la alcalinidad.....	38
6.5.2 Preparación de las muestras para la curva de calibración de los cloruros.....	39

6.5.3	Preparación de las muestras para la curva de calibración de la dureza.....	39
6.6	Análisis de las muestras.....	40
6.6.1	Alcalinidad	40
6.6.2	Cloruros.....	40
6.6.3	Dureza.....	41
6.7	Análisis de los datos obtenidos.....	42
6.8	Análisis estadístico.....	42
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
8.	CONCLUSIONES.....	74
9.	RECOMENDACIONES.....	75
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización del agua.....	18
Tabla 2. Características físicas del agua.....	29
Tabla 3. Niveles aceptables para ciertas sustancias químicas.....	35
Tabla 4. Preparación de muestras para la alcalinidad.....	37
Tabla 5. Preparación de muestras para los cloruros.....	37
Tabla 6. Preparación de muestras para la dureza.....	38
Tabla 7. Preparación de la curva de calibración para la alcalinidad.....	38
Tabla 8. Preparación de la curva de calibración para los cloruros.....	39
Tabla 9. Preparación de la curva de calibración para la dureza.....	39
Tabla 10. Curva de calibración para la alcalinidad.....	43
Tabla 11. Lote 1 de alcalinidad.....	44
Tabla 12. Lote 2 de alcalinidad.....	45
Tabla 13. Lote 3 de alcalinidad.....	45
Tabla 14. Lote 4 de alcalinidad.....	45
Tabla 15. Lote 5 de alcalinidad.....	46
Tabla 16. Lote 6 de alcalinidad.....	46
Tabla 17. Análisis estadístico de alcalinidad.....	47
Tabla 18. Datos para hallar el límite de detección para la alcalinidad.....	51
Tabla 19. Resumen de parámetros estadísticos para la alcalinidad.....	53
Tabla 20. Curva de calibración para los cloruros.....	53
Tabla 21. Lote 1 de cloruros.....	54
Tabla 22. Lote 2 de cloruros.....	55
Tabla 23. Lote 3 de cloruros.....	55
Tabla 24. Lote 4 de cloruros.....	55
Tabla 25. Lote 5 de cloruros.....	56
Tabla 26. Lote 6 de cloruros.....	56
Tabla 27. Análisis estadístico de cloruros.....	57
Tabla 28. Datos para hallar el límite de detección para los cloruros.....	61
Tabla 29. Resumen de parámetros estadísticos para los cloruros.....	63
Tabla 30. Curva de calibración para la dureza.....	64
Tabla 31. Lote 1 de dureza.....	65
Tabla 32. Lote 2 de dureza.....	65
Tabla 33. Lote 3 de dureza.....	65
Tabla 34. Lote 4 de dureza.....	66
Tabla 35. Lote 5 de dureza.....	66
Tabla 36. Lote 6 de dureza.....	66
Tabla 37. Análisis estadístico dureza.....	67
Tabla 38. Datos para hallar el límite de detección para la dureza.....	71
Tabla 39. Resumen de parámetros estadísticos para la dureza.....	73

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Curva de calibración para la alcalinidad.....	44
Grafica 2. Concentración Vs Volumen medio para la alcalinidad.....	51
Grafica 3. Concentración Vs desviación estándar para la alcalinidad.....	51
Grafica 4. Curva de calibración para los cloruros.....	54
Grafica 5. Concentración Vs Volumen medio para los cloruros.....	61
Grafica 6. Concentración Vs desviación estándar para los cloruros.....	62
Grafica 7. Curva de calibración para la dureza.....	64
Grafica 8. Concentración Vs Volumen medio para la dureza.....	71
Grafica 9. Concentración Vs desviación estándar para la dureza.....	72

1. JUSTIFICACIÓN

El agua pura considerada como un compuesto químico producido por la unión de una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno, solamente existe en el laboratorio bajo condiciones especiales. En la naturaleza, en cambio, el agua al entrar en contacto con el suelo y la atmósfera va adquiriendo elementos o compuestos que desvirtúan su composición original, tanto desde el punto de vista físico, esto es, que se hacen tangibles a la vista, al gusto y al olfato, como desde el punto de vista químico y microbiológico, que requieren análisis específicos para comprobar su presencia; en estas condiciones, la calidad del agua se expresa mediante la concentración de estos elementos y compuesto ya sea en solución o en suspensión, dado que su presencia genera ciertas características físicas, químicas y microbiológicas.

Existen diversas fuentes de agua potencialmente utilizables como son las aguas superficiales, constituidas por quebradas, ríos, lagos naturales y embalses artificiales, las aguas subterráneas, las aguas lluvias y los mares. Dependiendo de su origen y de las condiciones del medio en que se encuentra las características del agua varían notoriamente, siendo las causas de tales diferencias no solamente los fenómenos naturales como el arrastre de material insoluble de las orillas y de los afluentes que componen el sistema hidrográfico sino también, en forma más preocupante cada vez, la contaminación producida por la actividad industrial, el uso extensivo de pesticidas y abonos químicos en las zonas de cultivos, la explotación minera, la descarga de basuras y el vertimiento de desechos líquidos domésticos en corrientes y una interminable lista de residuos propios de las actividades cotidianas de los asentamientos humanos.

El agua utilizada para múltiples propósitos como son el abastecimiento público que cubre el uso doméstico, industrial y comercial, la generación de energía eléctrica, riego de cultivos, fines recreativos etc., donde cada situación requiere de unas condiciones de calidad diferente, siendo necesario en algunos casos acondicionar el agua para su adecuada utilización. Sin ser menos importantes, es claro que es de vital significado tanto para la salud humana como para el bienestar de la sociedad en su conjunto contar con un abastecimiento de agua seguro y satisfactorio para propósitos domésticos tales como el consumo, la preparación de alimentos y la higiene personal. Para cumplir este propósito el agua debe estar exenta de organismos capaces de originar enfermedades, y de cualquier mineral o sustancia orgánica que pueda producir efectos fisiológicos perjudiciales. Para fomentar el consumo de este líquido el agua debe ser aceptable desde el punto de vista estético, por ejemplo, estar exenta de turbiedad, color y olor perceptibles así como de cualquier sabor desagradable y tener una temperatura razonable. El agua que cumpla estos requisitos recibe la denominación de agua potable, lo que significa que puede consumirse en cualquier cantidad sin provocar efectos perjudiciales para la salud. **[1]**

El agua potable es indispensable para la vida del hombre, pero escasea en la medida que la población aumenta y lamentablemente es desperdiciada. Después

del aire, el agua es el elemento más indispensable para la existencia del hombre. Por eso es preocupante que su obtención y conservación se esté convirtiendo en un problema crucial. **[2]**

Por ser el agua el solvente universal, existe la posibilidad de que una inmensa cantidad de elementos y compuestos estén presentes en ella en forma de solución, sin embargo, la gran mayoría de estos no tienen mucho significado y es por esto que se consideran algunos de ellos solamente, teniendo en cuenta su posible prevalencia en el agua los efectos adversos que puedan tener sobre la salud, la influencia que tengan en los procesos de tratamiento o las implicaciones económicas. Para el desarrollo del presente trabajo se tendrán en cuenta las siguientes características químicas **[1]**:

- La alcalinidad es la concentración equivalente de una base titulable que se determina con una solución valorada de ácido. La propiedad alcalinidad de las aguas se debe generalmente a la presencia de bicarbonato, carbonato e hidróxido y con menos frecuencia a borato, silicato y fosfatos. El uso del valor de la alcalinidad de las aguas, solo es importante para la realización de ciertos procesos de tratamiento como ablandamiento y coagulación. **[3]**
- Generalmente las aguas superficiales y subterráneas de zonas no costeras poseen poca cantidad de cloruros. Por la adición de cloro como desinfectante, se puede obtener un pequeño aumento en la concentración de cloruros. Por ser la sal común o cloruro de sodio un compuesto muy común en la dieta humana, los límites de la presencia de cloruro en el agua, se deben fijar más por criterios de sabor y aceptabilidad que los daños fisiológicos debido a esto las restricciones han sido impuestas por razones de potabilidad y no de salubridad. **[3]**
- La dureza teórica de un agua es la suma de las concentraciones de todos los cationes metálicos que no sean de metales alcalinos, expresados en equivalentes de concentración de CaCO_3 . Un agua dura es aquella que consume una gran cantidad de jabón, antes de producir una espuma estable. Para la comunidad que este es un factor muy importante especialmente por los aspectos económicos que implica un alto consumo de jabón. Las principales causantes de la dureza, son las sales de calcio y magnesio que son los principales constituyentes minerales, encargados de consumir jabón y precipitarlo en forma de compuesto insoluble o grumos de jabón, mientras no se halla consumido todo el calcio y el magnesio, no se obtendrá espuma o acción lavadora. **[3]**

En la resolución 2115 del decreto 1575 de 2007 del Ministerio de la protección social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se menciona el valor máximo aceptable para la alcalinidad que es de 200 mg/L, la dureza que es de 300 mg/L y cloruros que deben tener un valor máximo de 250mg/L. [4]

La importancia del presente trabajo es que estos métodos sean confiables y para abrir las puertas a nuevos análisis ya que el método se va a encontrar estandarizado y validado.

Este estudio es importante para la formación como profesional, debido a que permite adquirir y desarrollar habilidades en el manejo de las técnicas aprendidas que a futuro serán de gran valor en el campo laboral

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los laboratorios donde se realizan análisis al agua cruda y tratada para el consumo humano, deben de practicarse pruebas fisicoquímicas y microbiológicas dentro de unos parámetros reglamentados por la resolución 2115 de junio 22 del 2007 del ministerio de la protección social y el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (en el además informan los valores máximos permitidos para los análisis). Estos laboratorios deben estar inscritos en el programa de interlaboratorios de control de calidad de agua potable (PICCAP) del instituto nacional de salud (exigencia del artículo 2 del decreto 1575 de 2007).

Debido a que los análisis de los métodos deben de ser confiables, no solo por dar cumplimiento a la norma sino porque es un producto de consumo humano masivo, lo que hace que la metodología de análisis deba de ser validada para conocer parámetros estadísticos para cada método con sus respectivos instrumentos y elementos empleados en este.

En el laboratorio de la planta de tratamiento de Empocabal con el fin de mantener la autorización del ministerio de la protección social para realizar los respectivo análisis, tener un desarrollo satisfactorio dentro del programa PICCAP y además mantener la certificación ISO 9001:2008 del sistema SGS debe de garantizar la calidad de agua, los análisis y métodos por medio de la validación.

Para lograr los objetivos ya mencionados y mantener en mejoramiento continuo del sistema de calidad del laboratorio de la planta de tratamiento de Empocabal es indispensable que se validen los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en el agua tratada y cruda.

3. OBJETIVOS

GENERAL

Validar los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en agua en la planta de tratamiento de EMPOCABAL (Santa Rosa de Cabal) en agua tratada y cruda con el fin de obtener los parámetros estadísticos (sensibilidad, límite de detección, linealidad y rango de trabajo) necesarios para la realización de esta.

ESPECÍFICOS

- Seleccionar los parámetros iniciales de los ensayos. Realizando ensayos previos y determinando la metodología.
- Desarrollar un procedimiento de validación de la determinación de alcalinidad, cloruros y dureza en agua en la planta de tratamiento de EMPOBAL (Santa Rosa de Cabal) en agua tratada y cruda.
- Determinar los parámetros característicos del método como lo son la repetibilidad en términos de exactitud, límite de detección, límite de cuantificación, linealidad y sensibilidad.
- Evaluar los resultados para establecer que los métodos de los análisis de alcalinidad, cloruros y dureza en agua en la planta de tratamiento de EMPOCABAL (Santa Rosa de Cabal) en agua tratada y cruda proporcionen un alto grado de confianza, desempeño y seguridad en los resultados que se obtienen al aplicarlo.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 EMPOCABAL

4.1.1 ¿QUIÉNES SOMOS?

La **EMPRESA DE OBRAS SANITARIAS DE SANTA ROSA DE CABAL - EMPOCABAL E.S.P. E.I.C.E.** es una empresa Industrial y Comercial del Estado del orden Municipal con Domicilio en el Municipio de Santa Rosa de Cabal Risaralda.

EMPOCABAL inicio operaciones legalmente el 22 de Agosto de 1988 posee un único dueño, el municipio de Santa Rosa de Cabal.

La empresa ofrece los servicios de:

- ACUEDUCTO
- ALCANTARILLADO
- ASEO

4.1.2 MISIÓN

La Empresa de Obras Sanitarias de Santa Rosa de Cabal, EMPOCABAL E.S.P.- E.I.C.E., es una Empresa Industrial y Comercial del Estado, de servicios públicos especializada en agua y saneamiento básico, con apertura a la oferta de otros servicios y al ejercicio de nuevas posibilidades comerciales que le demande su dinámica empresarial. Actúa bajo la observancia de los principios constitucionales y lineamientos de las políticas nacionales de los sectores en que brinda servicios, con arreglo a la normatividad vigente respectiva y a través de procesos y procedimientos controlados apoyados en una adecuada Gestión del Talento Humano para buscar de manera permanente el mejoramiento del nivel de vida de sus usuarios y la rentabilidad de sus actividades “.

4.1.3 VISIÓN

En el 2013 EMPOCABAL E.S.P.- E.I.C.E., será una Empresa Industrial y Comercial del Estado con unidades estratégicas de negocios estructurados, líder regional en el mercado externo y regional de aguas y tendrá participación activa en las acciones que respecto del recurso hídrico se tomen para el desarrollo del Eje Cafetero. En cuanto al saneamiento ambiental, estará desarrollando las tareas que le sean asignadas por el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del

Municipio, las cuales le permitirán la comercialización de estos y adquirir valor agregado de los mismos; y, contará al menos con un proyecto de financiación definido para la construcción de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

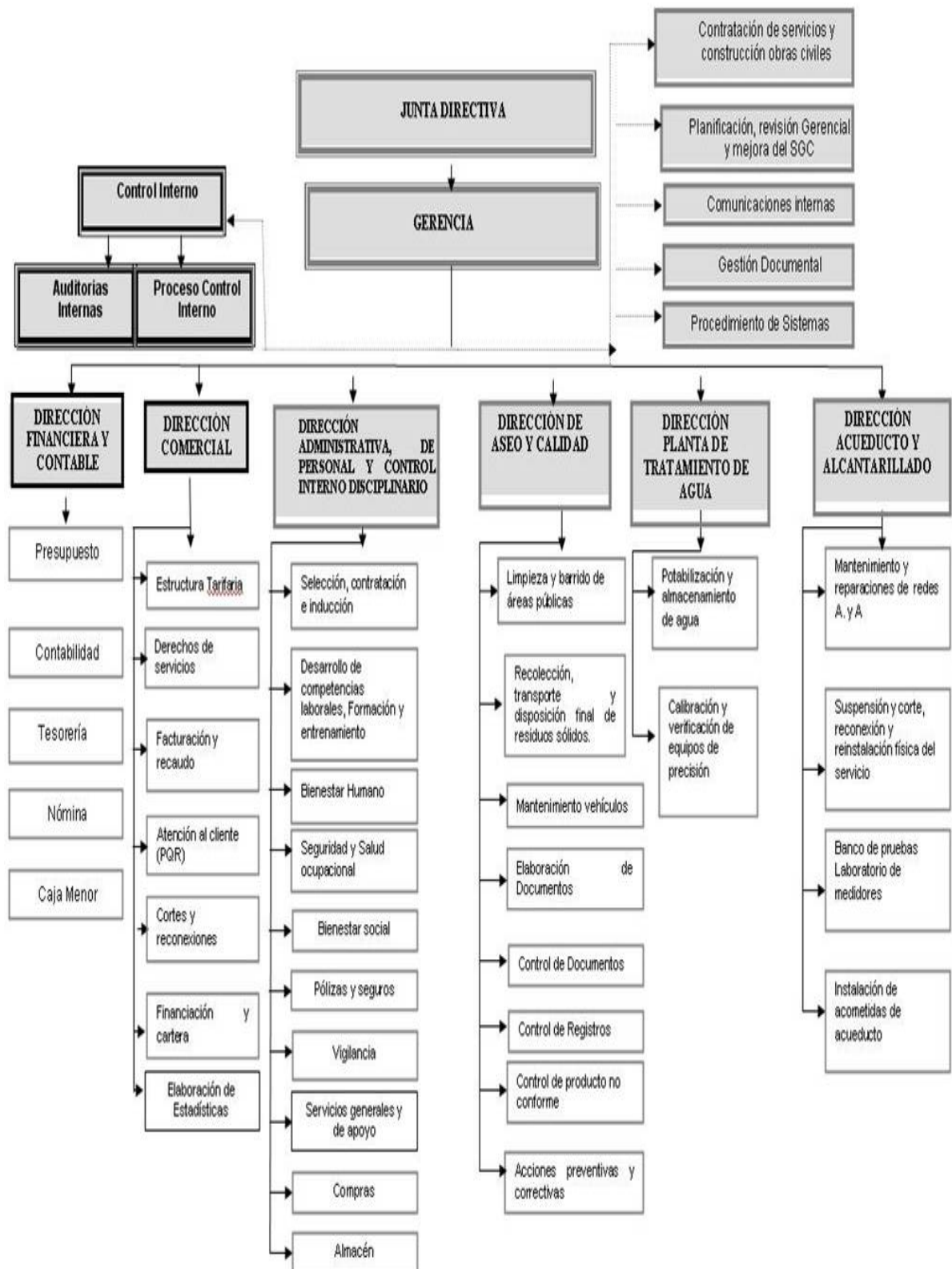
4.1.4 POLÍTICA DE CALIDAD

La Empresa de Obras Sanitarias de Santa Rosa de Cabal, EMPOCABAL E.S.P.-E.I.C.E., tiene como política de calidad cumplir con los requisitos del Sistema de Gestión de Calidad y mejorar continuamente su efectividad técnica y administrativa mediante procesos de prestación de servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, controlados, realizados por personas competentes, con sentido de responsabilidad social, que presten un óptimo servicio reflejado en una mejor atención al cliente, garantizando la seguridad en el medio ambiente y el bienestar social conforme las exigencias de la política y la normatividad nacional vigente.

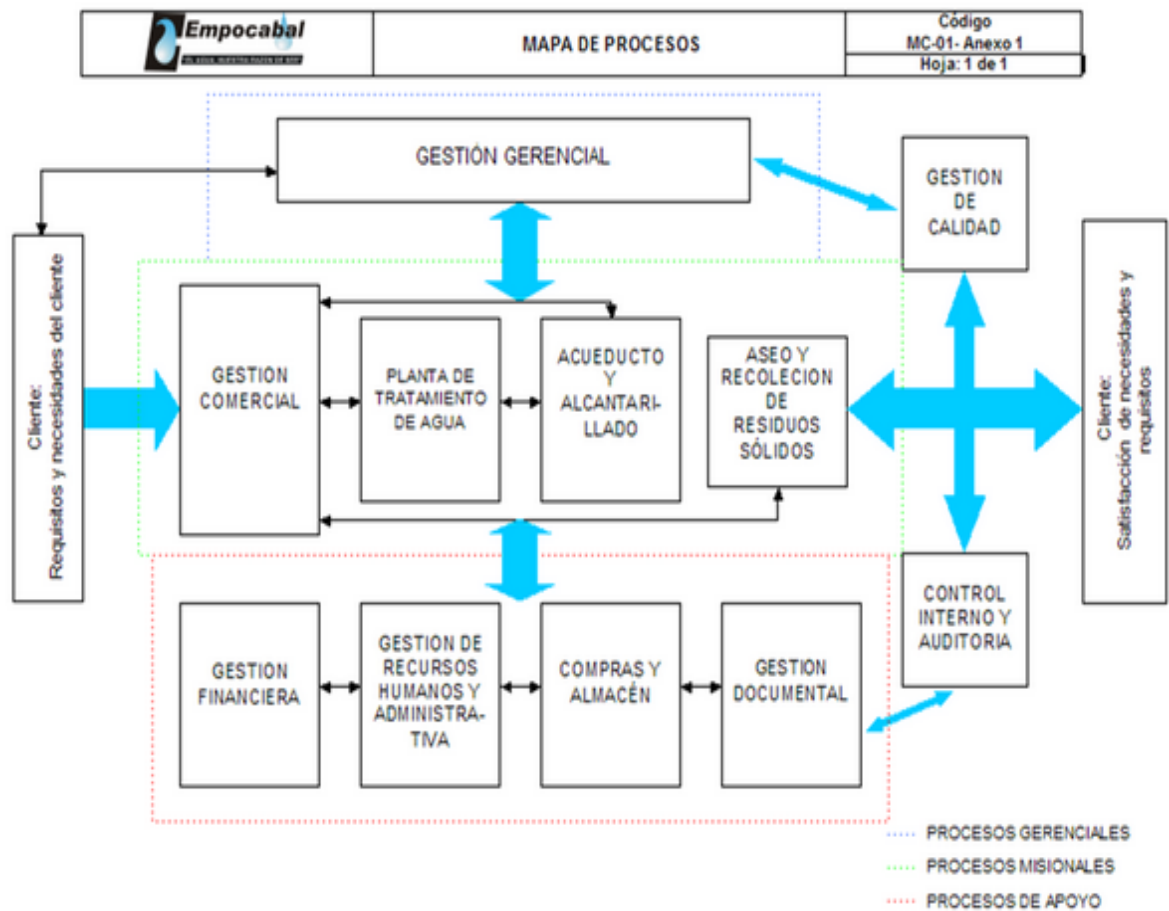
4.1.5 OBJETIVOS DE CALIDAD

- Mantener y mejorar las competencias del personal.
- Obtener y mantener la Certificación de Calidad NTC – ISO 9001 versión 2000.
- Cumplir con la normatividad vigente relacionados con los servicios que presta la entidad.
- Mejorar la Eficiencia operacional.
- Suministro de agua con presión 15 M. C. A.
- Garantizar la continuidad en la prestación del servicio.
- Mejorar la eficiencia del recaudo.
- Mejorar la satisfacción del cliente.

4.1.6 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



4.1.7 PROCESOS



4.1.8 PROCESOS ADMINISTRATIVOS

- Gestión gerencial
- Recursos humanos
- Compras y almacén
- Comercial
- Financiero
- Control interno

4.1.9 PROCESOS TÉCNICOS

- Aseo
- Calidad
- Acueducto y alcantarillado
- Planta de tratamiento [7]

4.2 AGUA

El agua es una sustancia tan común en la tierra que casi siempre se menosprecia su naturaleza única. El agua participa en todos los procesos vitales. Es un magnifico disolvente para muchos compuestos iónicos, así como para otras sustancias que son capaces de formar enlaces de hidrogeno con el agua.

La totalidad del agua comprendida en la superficie de la tierra es aproximadamente 326 millas cubicas. De esta importante cantidad de agua, aunque puede proporcionar indirectamente agua dulce a través de la evaporación del agua oceánica, solo el 3% es agua dulce. Incluso la mayoría del minúsculo porcentaje de agua dulce se sitúa en los polos y en los glaciales. El resto la contienen los lagos, esta fluyendo por debajo del suelo, y en los ríos y arroyos. Solo el 0,027% del agua dulce está disponible para consumo humano.

Tabla 1. Localización del agua

<i>Localización</i>	<i>Porcentaje total (%)</i>
Áreas terrestres	
Lagos de agua dulce	0,009
Lagos salados y mares interiores	0,008
Ríos (volumen instantáneo promedio)	0,0001
Humedad del suelo	0,005
Agua subterránea (a profundidad <4.000m)	0,61
Polos y glaciales	2,14
Total áreas terrestres	2,8
Atmosfera(vapor de agua)	0,001
Océanos	97,3
Total en todas las localizaciones (redondeando)	100

Vemos que la fuente principal del agua de bebida es el agua superficial, el agua subterránea y el agua subterránea con influencia directa del agua superficial (manantial y pozos someros). La mayor parte del agua superficial tiene su origen directamente de la lluvia o nieve. Las fuentes de agua superficial incluyen: ríos, torrentes, lagos, arroyos, embalses, aljibes, balsas, manantiales (influidos directamente por la lluvia) y colectores de lluvia. Además es agua superficial tiene ventajas como fuentes de agua potable. Las fuentes de agua superficial se suelen localizar fácilmente [8].

El agua tal como la encontramos en la naturaleza no es utilizable directamente para el consumo humano ni para la industria, porque, salvo en raros casos, no es

suficientemente pura. A su paso por el suelo, por la superficie de la tierra o incluso a través del aire, el agua se contamina y se carga de materias en suspensión o en solución: partículas de arcilla, residuos de vegetación, organismos vivos (plancton, bacterias, virus), sales diversas (cloruros, sulfatos, carbonatos de sodio, calcio, hierro, manganeso, etc.), materias orgánicas (ácidos húmicos, fúlvicos, residuos de fabricación), gases.

La presencia de esta gran variedad de impurezas exige el tratamiento de las aguas antes de su utilización, para hacerlas aptas para las aplicaciones consideradas, o después de su utilización, para evitar todo daño a nuestro medio ambiente.

Para conseguir los resultados deseados, desde la obtención de un líquido claro y limpio para el consumo humano, hasta la del agua extrapura que exige la industria electrónica moderna, será necesario aplicar, independientemente o de forma combinada los procesos.

Además es de tener en cuenta que el tratamiento trae siempre como consecuencia la formación de residuos que normalmente, no pueden devolverse a la naturaleza en el mismo estado que se encuentran, sino que deben tratarse para reducir su volumen, desecarlos, desinfectarlos, etc.: el tratamiento de agua va seguido generalmente de un tratamiento de residuos.

Si se quiere depurar el agua, generalmente es preciso combinar varios tratamientos elementales, cuyas bases pueden ser físicas, químicas o biológicas, y cuyo efecto es el de eliminar en primer lugar las materias en suspensión, a continuación las sustancias coloidales, y después las sustancias disueltas (minerales u orgánicas) [9].

Una típica planta de tratamiento (para tratar agua de un curso de agua superficial, con turbidez y materia orgánica) procesa un agua bruta utilizando varios procesos unitarios: desbaste, desarenado, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (cuyos principios básicos se exponen a continuación).

4.2.1 DESBASTE

Tiene por objeto proteger a la estación de la posible llegada intempestiva de grandes objetos capaces de provocar obstrucciones en las distintas unidades de la instalación. Además de separar y evacuar fácilmente las materias voluminosas arrastradas por el agua bruta, que podrían disminuir la eficacia de los tratamientos siguientes o complicar la realización de los mismos.

La operación puede ser más o menos eficaz, según la separación entre los barrotes de la reja. Pueden distinguirse: desbaste fino (con una separación de 3 a 10 mm), desbaste medio (con una separación de 10 a 25 mm) y pre desbaste (con una separación de 50 a 100mm).

Las rejas utilizadas en el desbaste pueden ser de limpieza manual o de limpieza automática, estas últimas se llaman rejas mecánicas.

Una reja mecánica va normalmente protegida por una pre reja de barrotes con separación de 50 a 100mm provista generalmente para limpieza manual, pero que deberá ser igualmente automática en el caso de instalaciones importantes o si el agua bruta llega muy cargada de materias gruesas.

Sin embargo la mecanización del desbaste no depende solamente de la importancia de la estación. También puede adoptarse este tipo de rejas si se desea reducir las intervenciones manuales de limpieza, aun cuando se trate de instalaciones pequeña importancia. En todo caso, la mecanización es inevitable si existe el riesgo de una llegada brusca de materias vegetales con tendencia a formar un 'fieltro' sobre la reja que puede provocar un atascamiento total en minutos.

En caso de limpieza manual, debe calcularse ampliamente la superficie de la reja, para evitar la necesidad de intervenciones demasiado frecuentes, especialmente si la separación entre barrotes es inferior a 20mm.

Cuando la limpieza es automática, los dispositivos de recogida y de evacuación de residuos deben dimensionarse, en función del peso de los mismos, en especial, la capacidad de almacenamiento del receptáculo móvil de recogida debe ser, como mínimo para 24 horas.

La velocidad de paso a través de la reja debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre la reja, sin que se provoque una pérdida de carga demasiado fuerte, ni se produzca un atascamiento en la parte profunda de los barrotes. De acuerdo con ello, se establecerá una velocidad aceptable entre los caudales mínimo y máximo.

Generalmente se adopta una velocidad media de paso entre los barrotes comprendida entre 0,60 y 1,00 m/s, pudiendo llegarse hasta 1,20 y 1,40 a caudal máximo.

Si la velocidad mínima prevista puede provocar depósitos en el canal de la reja, deberá preverse un barrido en este último o cualquier otro medio para evitar su formación.

Las rejillas crean pérdidas de carga comprendidas entre 0,05 y 0,15 m en aguas potables, y entre 0,10 y 0,40m en aguas residuales.

4.2.2 DESARENADO

Tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

El desarenado se refiere normalmente a las partículas superiores a 200 micras. Una granulometría inferior corresponde a los procesos de pre-decantación o decantación.

El estudio teórico del desarenado está relacionado con el de los fenómenos de sedimentación en caída libre y en el intervienen las formulas de Stokes (en el régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) y de Allen (aplicable al régimen transitorio). Mediante estas formulas, se calculan las velocidades de sedimentación de las partículas esféricas. Deberán aplicarse algunas correcciones para tener en cuenta:

- La forma de los granos.
- La concentración de los sólidos en suspensión si sobrepasa del 0,5% aproximadamente.
- La naturaleza del flujo horizontal. [9]

Tipos de desarenadores:

- Tipo Detritus (son los más conocidos y utilizados):
 - Convencional: Es de flujo horizontal, el más utilizado en nuestro medio. Las partículas se sedimentan al reducirse la velocidad con que son transportadas por el agua. Son generalmente de forma rectangular y alargada, dependiendo en gran parte de la disponibilidad de espacio y de

las características geográficas. La parte esencial de estos es el volumen útil donde ocurre la sedimentación.

- Desarenadores de flujo vertical: El flujo se efectúa desde la parte inferior hacia arriba. Las partículas se sedimentan mientras el agua sube. Pueden ser de formas muy diferentes: circulares, cuadrados o rectangulares. Se construyen cuando existen inconvenientes de tipo locativo o de espacio. Su costo generalmente es más elevado. Son muy utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
 - Desarenadores de alta rata: Consisten básicamente en un conjunto de tubos circulares, cuadrados o hexagonales o simplemente láminas planas paralelas, que se disponen con un ángulo de inclinación con el fin de que el agua ascienda con flujo laminar. Este tipo de desarenador permite cargas superficiales mayores que las generalmente usadas para desarenadores convencionales y por tanto éste es más funcional, ocupa menos espacio, es más económico y más eficiente.
- Tipo Vórtice: Los sistemas de desarenación del tipo vórtice se basan en la formación de un vórtice (remolino) inducido mecánicamente, que captura los sólidos en la tolva central de un tanque circular. Los sistemas de desarenador por vórtice incluyen dos diseños básicos: cámaras con fondo plano con abertura pequeña para recoger la arena y cámaras con un fondo inclinado y una abertura grande que lleva a la tolva. A medida que el vórtice dirige los sólidos hacia el centro, unas paletas rotativas aumentan la velocidad lo suficiente para levantar el material orgánico más liviano y de ese modo retornarlo al flujo que pasa a través de la cámara de arena.

4.2.3 COAGULACIÓN

Consiste en introducir en el agua un producto capaz de formar un precipitado y de neutralizar la carga de los coloides, generalmente electronegativos, presentes en el agua. Este producto se conoce con el nombre de coagulante.

La coagulación comienza en el mismo instante que se agregan los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente se trata de una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua misma.

Los coagulantes los podemos clasificar en dos grupo: lo poli electrolitos o ayudantes de coagulación y los coagulantes metálicos. Ambos grupos básicamente actúan como polímeros además de la carga eléctrica que poseen. En los polímeros, las cadenas poliméricas están ya formadas cuando se los agrega al agua. En los segundos, la polimerización se inicia cuando se pone el coagulante en el agua, después de lo cual viene la etapa de adsorción por los coloides presentes en la fase acuosa.

Es, sin embargo, necesario observar que la velocidad de sedimentación de las partículas coaguladas no dependen en forma exclusiva de los coagulantes usados sino del peso de las partículas que se trata de sedimentar. **[10]**

Teniendo en cuenta que la neutralización de los coloides es el principal objetivo que se pretende en el momento de la introducción del coagulante, es conveniente que al reactivo utilizado se difunda con la mayor rapidez posible. En efecto, el tiempo de coagulación es extraordinariamente breve (inferior al segundo) y la utilización optima del coagulante exige que la neutralización de los coloides sean total antes que una parte del coagulante haya comenzado a precipitar. Para mezcla de los reactivos, se utiliza a veces únicamente la turbulencia creada por un vertedero, pero conviene disponer de un sistema que permita esta mezcla rápida, sistema denominado mezclador rápido o coagulador, y que sea capaz de crear un gran gradiente de velocidad comprendido entre 100 y 1000s⁻¹. No son indispensables los mezcladores rápidos cuando se utilizan un decantador por contacto de fango, mientras que si lo son en caso de floculación difusa.

La elección del coagulante se efectuara después de un estudio del agua en el laboratorio, mediante la técnica de ensayos de floculación. En esta elección deben tenerse en cuenta diversos factores:

- Naturaleza y calidad del agua bruta.
- Validación del agua bruta (variaciones diarias o según las estaciones, en especial, influencia de la temperatura).
- Criterios de calidad y destino del agua tratada.
- Tratamiento previsto después de la coagulación (coagulación sobre filtro, decantación).

- Grado de pureza del reactivo, especialmente en el caso de aguas para abastecimiento público. Para este uso se excluyen los productos de recuperación, subproductos de fabricación, etc.

4.2.4 FLOCULACIÓN

El coagulante introducido da lugar a la formación del floculo pero es necesario aumentar su volumen, su peso y sobre todo su cohesión. Se favorecerá el engrosamiento del floculo por medio de:

- Una coagulación previa, tan perfecta como sea posible.
- Un aumento de la cantidad del floculo en el agua; conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior, tratando de conseguir la mayor concentración posible.
- Una agitación homogénea y lenta del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con una partícula del floculo.
- El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

Los floculantes, llamados también ayudantes de coagulación e incluso ayudantes de filtración, son productos destinados a favorecer cada una de estas operaciones. La acción puede ejercerse al nivel de la velocidad de reacción (floculación más rápida) o al nivel de la calidad del floculo (floculo más pesado, más voluminoso y más coherente).

Después de haberse efectuado la dispersión de los coagulantes, el proceso siguiente consiste en producir en el agua una agitación lenta que permita el crecimiento del floc, inducido por el contacto entre las partículas desestabilizadas, Fundamentalmente en la floculación deben considerarse tres características especiales: forma de producir la agitación, gradiente de velocidad y tiempo de detención.

Con este proceso se buscan dos objetivos básicos: reunir los microflóculos para formar partículas mayores con peso específico superior que el del agua; y compactar el floc disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual permite una alta eficiencia de los proceso de sedimentación y filtración.

Según el tipo de energía usada para producir la agitación, los floculadores pueden clasificarse en hidráulicos, mecánicos e hidromecánicos. Los primeros, según el sentido del flujo, se clasifican en: de flujo horizontal, de flujo vertical y de flujo

helicoidal. Los segundos, asimismo, según el sentido del movimiento, se clasifican en reciprocantes y rotatorios. Cabe mencionar, también, dos tipos de floculadores que tienen carácter experimental: los de piedra y los de mallas.

El proceso de coagulación- floculación se realiza en las plantas en tres pasos separados:

- Adición de los coagulantes.
- Dispersión de los coagulantes (mezcla rápida).
- Aglutinación de partículas (mezcla lenta).

4.2.5 SEDIMENTACIÓN

Es la remoción de los sólidos en suspensión en un fluido por la fuerza de gravedad. Los sólidos pueden estar presentes en el agua en la forma como ocurren naturalmente, como es el caso del limo o la arena, o en forma modificada de su forma natural, como resultado de la coagulación y la floculación. Sea cual fuere el origen de las partículas, si son más densas que el agua es mayor su probabilidad de sedimentación, dando como resultado un fluido clarificado, y en el fondo de los tanques, una suspensión más concentrada que se considera ha sido separada del mismo.

Hay que distinguir dos formas de sedimentación dependiendo del tipo de partículas que se desean separar del agua: la sedimentación de partículas discretas o sedimentación simple, y la sedimentación de partículas aglomerables o sedimentación inducida. El primer caso es el que ocurre en las unidades de sedimentación llamada desarenadores, en las cuales se trata de reducir la concentración de partículas de cierto tamaño (arena de 0,015 a 0,15 cm de diámetro), sin adición de coagulantes o cualquier otro producto químico, y sin que ocurra cambio de densidad, tamaño o forma de las mismas al descender en el agua; el segundo caso, es el que se efectúa en una planta de tratamiento en unidades llamados decantadores, los cuales reciben agua previamente coagulada y floculada. Con los procesos precedentes, se logra la unión de las partículas coloidales y suspendidas para formar partículas de mayor tamaño capaces de asentarse en el fluido, tomando en este caso particular el nombre de sedimentación floculenta, sedimentación inducida o simplemente decantación. Es importante hacer notar que la decantación está ligada a la floculación, pues los sólidos desestabilizados al descender en el decantador se adhieren o aglutinan, agrandándose los flóculos y originando un proceso muy complejo; en cambio en la sedimentación de partículas discretas como la arena, se asume que cada una se mueve a través de la fase líquida sin ser alterada o afectada por las demás.

La sedimentación se realiza en unidades o reactores en los cuales, teóricamente, la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante. Una unidad de sedimentación consta de cuatro zonas:

- La zona de entrada, cuya función es la distribución del agua de forma que la velocidad sea uniforme en toda la sección transversal, minimizando además las corrientes causan turbulencias.
- La zona de sedimentación propiamente dicha, cuyas características de régimen de flujo permiten la remoción de los sólidos del agua.
- La zona de lodos, utilizada para almacenar los lodos sedimentados hasta el momento que se retiren del reactor.
- la zona de salida, la cual recoge el agua clarificada de forma que la velocidad sea lo más uniforme posible. [1]

4.2.6 FILTRACIÓN

El objetivo básico de la filtración es separar las partículas y microorganismos objetables, que no se han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse en muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel filtro) o medio granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente de abajo hacia arriba o descendente de arriba hacia abajo y mixto (parte ascendente y parte descendente). Por último, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

Existe una larga lista de factores que en una forma u otra influyen en el proceso de filtración. Se podría enumerar los siguientes:

- Tipo de medio filtrante.
- Velocidad de filtración.
- Tipo de suspensión: características físicas (volumen, densidad, tamaño) y características químicas (pH, potencial zeta).
- Influencia de la temperatura.
- Dureza del floc.

Durante el proceso de filtrado, los granos del medio filtrante se recubren de material depositado en ellos hasta obstruir el paso del flujo, lo que obliga a

limpiarlos periódicamente esto se puede hacer raspando las capas superficiales, lavándolas por separado y volviéndolas a colocar en el filtro o invirtiendo el sentido del flujo del él, inyectando agua en los drenes y recolectándola en la parte superior. El primer método se emplea solo en filtros lentos donde se remueven partículas discretas, no flocúlenlas que penetran poco dentro del lecho. El segundo, en cambio, se usa tradicionalmente en todos los filtros rápidos, que trabajan con agua floculada, y en donde la penetración de las impurezas es mucho más profunda que en los lentos.

Un lavado inadecuado de los filtros puede acarrear diferentes problemas tales como: formación de bolas de lodo en el interior del lecho filtrante, producción de un menor volumen de agua durante la carrera de filtración, obtención de agua filtrada de mala calidad y/o aumento de la pérdida de carga en el lecho filtrante.

4.2.7 DESINFECCIÓN

La desinfección del agua se refiere a la destrucción de los organismos patógenos causantes de enfermedades o patógenas presentes en ella. Los principales son: bacterias, protozoarios, virus y trematodos

Las condiciones que debe tener un desinfectante ideal para poder usado en las plantas de purificación son:

- Debe de ser capaz de destruir los organismos causantes de enfermedades.
- Debe realizar esta labor a la temperatura del lugar y en un tiempo adecuando.
- No debe hacer el agua toxica peligrosa para la salud o el sabor desagradable.
- Debe ser de fácil obtención, sencillo manejo y bajo costo.
- Su concentración en el agua debe poderse determinar prontamente.
- Debe dejar un efecto residual, para que proteja el agua contra posteriores contaminaciones.

La efectividad de un proceso de desinfección se mide por el porcentaje de organismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados. La resistencia de estos microorganismos varia, sin embargo, según sus características morfológicas.

Por ser la desinfección una reacción, depende de los siguientes factores: relación concentración-tiempo, temperatura, pH, número y tipo de organismos.

El agua destinada al consumo humano debe estar exenta de bacterias pútridas y gérmenes patógenos. Se consigue este resultado por desinfección con cloro, añadido al agua en forma de agua clorada que se inyecta en el depósito de agua

tratada, o, en el caso de instalación a presión, en la tubería de impulsión hacia el depósito de almacenamiento. En ambos casos, deben tomarse las debidas precauciones para garantizar la mezcla correcta del agua clorada con el agua sometida al tratamiento. Se necesita un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos, al cabo del cual la dosis de cloro residual debe ser aun de 0,1 y 0,2 mg/L. [10]

4.2.8 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA

Es el conjunto de características mediante las cuales se cuantifica la calidad del agua.

4.2.8.1 Características físicas

Son aquellas que se puede detectar con los sentidos, lo cual implica que tiene incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Las características físicas son la turbiedad, el color, el sabor, el olor y la temperatura.

- *Turbiedad*: es la propiedad óptica de una muestra de agua para disipar y absorber la luz en vez de transmitida en línea recta. La turbiedad es la expresión empleada para describir las partículas no solubles de arcilla, limo, material mineral, basura orgánica, plancton y otros organismos microscópicos que impiden el paso de la luz a través del agua.
- *Color*: a pesar de estar íntimamente ligado a la turbiedad, puede presentarse como una característica independiente. El color incide sobre el aspecto estético del agua, quitándole transparencia.
- *Olor y sabor*: se mencionan conjuntamente por estar íntimamente relacionados. Aunque ni el olor ni el sabor pueden ser directamente relacionados con la seguridad sanitaria de una fuente de abastecimiento, su presencia puede causar rechazo por parte del consumidor. Para reducir o eliminar los olores y sabores desagradables se recurre a procesos tales como las aeración, adición de carbón activado, etc.
- *Temperatura*: el factor temperatura es importante porque actúa como elemento que retarda o acelera la actividad biológica, la absorción del oxígeno y bióxido de carbono de la atmosfera por el agua, e influye en la proliferación de algas y en la precipitación de compuestos. Además, afecta los procesos de tratamiento como la desinfección con cloro, y por tener influencia sobre la viscosidad del

agua, incide también indirectamente en los procesos de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración.

Tabla 2. Características físicas del agua [4]

Característica física	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de Turbiedad(UNT)	2

4.2.8.2 Características químicas

Por ser el agua un solvente universal, existe la posibilidad de que una inmensa cantidad de elementos y compuestos estén presentes en ella forma de solución; sin embargo, la gran mayoría de estos no tiene mucho significado y es por esto que se consideran algunos de ellos solamente, teniendo en cuenta su posible prevaencia en el agua, los efectos adversos que puedan tener sobre la salud, la influencia que tenga en los procesos de tratamiento o implicaciones de tipo económico.

- *Potencial hidrogeno, pH:* es un término usado universalmente para expresar la intensidad de las condiciones acidas o básicas de una solución cualquiera, en nuestro caso del agua, mediante la concentración del ion hidrogeno.
- *Acidez:* es la capacidad que tiene el agua de neutralizar alcalinidad, esto es iones del tipo $[\text{OH}^-]$, debido a la presencia de iones $[\text{H}^+]$
- *Alcalinidad:* básicamente es la medida de la capacidad del agua para neutralizar la acidez. Puede considerarse como la presencia en el agua de iones $[\text{OH}^-]$, $[\text{CO}_3^{2-}]$ y $[\text{HCO}_3^-]$, los cuales tienen la propiedad de reaccionar con los ácidos, neutralizándolos.
- *Dureza:* la presencia de cationes polivalentes, principalmente los cationes de calcio y magnesio dan origen a la dureza de las aguas.
- *Detergentes:* bajo el nombre genérico de agentes espumantes se consideran todos los productos que en mayor o menor grado producen espuma cuando el

agua es agitada. Su presencia en esta se debe principalmente al residuos de detergentes domésticos, siendo los más comunes el Alkyl-Benceno-Sulfonato lineal (LAS) y el Alkyl-Benceno-Sulfonato ramificada (ABS).

- *Aceites y grasas:* la presencia de aceites y grasas en el agua genera problemas de olor y sabor, deteriora la calidad estética de la misma y puede ser un riesgo potencial para la salud. Por las anteriores razones, los aceites y grasas deben estar ausentes del agua de consumo.
- *Fenoles:* la presencia de los compuestos fenólicos en el agua está relacionada con la contaminación de las fuentes por desechos industriales, aguas negras, fungicidas y pesticidas. Los fenoles afectan la calidad del agua de muchas formas, siendo la principal la relacionada con las condiciones organolépticas.
- *Hierro y manganeso:* el hierro y el manganeso están muy frecuentemente asociados y son raras las aguas que los contienen en forma independiente. Tanto el hierro como el manganeso crean serios problemas en aguas de servicio público, siendo mayores los inconvenientes cuando se trata de aguas subterráneas.
- *Cloruros:* la forma más común de ocurrencia de los cloruros en el agua es el cloruro de sodio o sal común. El origen de los mismos son sales del suelo que se disuelven en el agua, siendo escasa su presencia en concentraciones altas en aguas superficiales, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas.
- *Sulfatos:* las aguas naturales no contienen generalmente altas concentraciones de sulfatos, pero cuando se hallan en cantidad apreciable, tienen efectos sobre el sabor y, son laxantes cuando simultáneamente están presentes el manganeso y el sodio.
- *Zinc:* este elemento es esencial y benéfico para el metabolismo humano; sin embargo su presencia comunica al agua un sabor astringente. Opalescencia y depósitos similares a la arena, por lo cual su contenido debe limitarse.
- *Cobre:* este elemento puede encontrarse en forma natural en las aguas pero raramente en concentraciones superiores a 1mg/L. Su presencia en el agua es conveniente para el metabolismo humano y ocasionalmente es usado para controlar la proliferación de algas.
- *Nitratos:* la presencia de nitratos no es extraña, especialmente en aguas de pozo que puedan recibir infiltraciones de tanques sépticos, ganadería, etc. El

nitrógeno en forma de nitritos, tiene una toxicidad mayor que afecta al hombre y es por estos efectos adversos que su contenido debe ser vigilado en el agua de consumo.

- *Fluoruros*: está plenamente establecido que el contenido natural flúor, dentro de ciertos límites, resulta benéfico para los niños que están desarrollando el esmalte dental; pero si el contenido de flúor excede el límite, el esmalte dental puede adquirir unas manchas color marrón permanente, llamadas fluorosis, y si es inferior, no ejerce protección contra la caries.
- *Sustancias tóxicas*: existe un grupo de contaminante inorgánicos deletéreos, cuya presencia en el agua por encima de ciertos valores admisibles tiene reconocido efecto negativo en la salud humana. Dicho grupo presenta las mayores dificultades, ya que los métodos convencionales de tratamiento pueden no ser efectivos para la remoción de algunos de ellos, y en ciertos casos, es más recomendable buscar fuentes alternas que nos los contengan. Sin embargo, los contaminantes inorgánicos que afectan la salud generalmente no están presentes en forma natural en concentraciones tales que hagan necesaria su remoción. Los principales de estos elementos son los siguientes arsénico, bario, cadmio, cianuro, mercurio, plata, cromo y plomo.
- *Pesticidas*: bajo este nombre genérico se agrupan una gran cantidad de compuestos inorgánicos, orgánicos naturales y orgánicos sintéticos, que se utilizan con variados propósitos en las labores agrícolas, tales como insecticidas, fungicidas, algicidas, matamalezas y herbicidas. Los efectos tóxicos de los plaguicidas sobre la salud humana difieren, dependiendo de su naturaleza química, pues mientras algunos se acumulan en los tejidos, otros son metabolizados. [1]

4.2.8.3 Características microbiológicas

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces.

El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica. De la misma

manera los crustáceos se incrementas y por lo tanto los peces de idéntica manera.

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada.

Sin embargo para que el agua se destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.

Del reino vegetal, los microorganismos más importantes desde el punto de vista de la Ingeniería Sanitaria son las algas y bacterias aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición. **[11]**

4.3 VALIDACIÓN

Para conseguir la idoneidad en un resultado analítico es imprescindible la utilización de un método confiable. Para asegurar confiabilidad los métodos analíticos deben someterse a un procedimiento de validación ya sea de carácter prospectivo, retrospectivo o de revalidación; para comprobar, si el método es lo suficientemente confiable y si los resultados previstos satisfacen los requisitos analíticos prefijados.

La validación constituye un requisito imprescindible para las buenas prácticas de laboratorio.

La validación es el proceso que se sigue para definir un requisito analítico y confirmar que el método considerado tiene capacidades de rendimiento consistentes con las requeridas con la aplicación. La validación de métodos ha tendido a concentrarse en el proceso de evaluar los parámetros de rendimiento. Los parámetros de rendimiento se establecen de acuerdo a la categoría a la que pertenecen el método y siguiendo los requisitos exigidos por distintos organismos internacionales que incluyen: intervalo de trabajo, linealidad, sensibilidad, límite de detección, límite de cuantificación, exactitud, precisión, repetibilidad, reproducibilidad, robustez, incertidumbre, etc.

4.3.1 Parámetros de la validación

Los parámetros que se tendrán en cuenta para la validar los métodos son:

- Coeficiente de variación CV **[6]**.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

Donde:

S → desviación estándar de la muestra (Es una medida del grado de dispersión de los valores alrededor de una media en una distribución de valores). **[12]**

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Xi → Valor i-ésimo medido

\bar{X} → Media de la muestra o promedio de un conjunto finito de datos

N → Número medidas

- Sensibilidad (Obtenida de la pendiente de la curva de calibración): es la medida del factor de respuesta del instrumento como una función de la concentración. Normalmente se mide como la pendiente de la curva de calibración. Como valor se puede reportar el promedio para las curvas obtenidas en los ensayos de estandarización y en la medición de muestras, indicando su desviación estándar **[13]**
- Limite de detección: la mayoría de criterios coinciden en que el límite de detección se define a partir de la más pequeña cantidad detectables por encima del ruido de un procedimiento y dentro de un límite declarado de aceptación. **[13]**

$$LOD = \bar{B} + 3S_B$$

S_B → desviación estándar del blanco

\bar{B} → Concentración del analito que proporciona una señal del blanco

- Linealidad (LOL):
Define la habilidad del método para obtener resultados de la prueba proporcionales a la concentración del analito.
Nota: Se deduce que el intervalo lineal es el intervalo de concentraciones del analito dentro del cual los resultados de prueba obtenidos por el método son proporcionales a la concentración del analito. **[12]**
(Se determinaran los rangos lineales para cada ensayo usando patrones de referencia).

- Rango útil de trabajo

$$RU = (LOL) - (LOQ)$$

$$LOQ = \bar{B} + 10S_B$$

LOQ → límite de cuantificación: es característica del desempeño que marcan la habilidad de un proceso de medición química para 'cuantificar' adecuadamente un analito. También se define como el contenido igual o mayor que el menor punto de concentración en la curva de calibración. **[12]**

S_B → desviación estándar del blanco

\bar{B} → Concentración del analito que proporciona una señal del blanco

5. MARCO LEGAL

La norma que rige y por ende está relacionada con este proyecto de validación es la resolución 2115 del decreto 1575 de 2007 del Ministerio de la protección social, Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial donde se menciona el valor máximo aceptable para la alcalinidad, los cloruros y la dureza cuya información se encuentra artículo 7º del mencionado decreto y el cual es mencionado a continuación:

Artículo 7º. Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

Características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

Tabla 3. Niveles aceptables para ciertas sustancias químicas [4]

Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico	Expresada como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60
Alcalinidad total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl ⁻	250
Dureza total	CaCO ₃	300
Aluminio	Al ³⁺	0,2
Hierro total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	250
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

6. METODOLOGIA

6.1 Muestras de análisis

Se utilizaron muestras puntuales de agua que fueron adquiridas del rio San Eugenio, rio Campoalegrito y otras proporcionadas por la planta de tratamiento de Empocabal de agua tratada.

6.2 Estándares

Se utilizaron estándares comerciales de diferentes concentraciones para cada técnica, las cuales son mencionadas a continuación:

- Alcalinidad: 25000 mg/L CaCO_3 .
- Cloruros: 12500 mg/L Cl^- .
- Dureza: 10000mg/L CaCO_3 .

6.3 Método de análisis

Para la determinación de estos parámetros se prepararon patrones con concentraciones conocidas y una muestra problema; y posteriormente se midió su contenido por medio de la técnica verificando por medio de la elaboración de curvas de calibración [5].

Siguiendo el planteamiento del taller de de validación de método analíticos (sexto curso) dictado por el instituto nacional de salud, se siguió un protocolo en el cual se tuvieron 6 lotes constituidos por 2BK, 2 patrones de 0,09C y 0,9C, 2 muestras naturales y 2 muestras naturales con adiciones conocidas.

Análisis:

- BK1 y BK2 (blancos de reactivos =soluciones testigo)
- M1 y M2 (muestras de agua natural= soluciones patrón)
- M1+A1(solución de adicionado 0,4C= muestra M1 + adición estándar A1)
- M2+A2(solución de adicionado 0,7C= muestra M2 +adición estándar)
- 0,09C y 0,9C (solución estándar = solución patrón)

Donde C es el límite superior permitido del ámbito de concentración seleccionado, M1agua natural del rio Campo Alegrito y M2 agua natural del rio San Eugenio.

Cada uno de los lotes se analizo durante 6 días para poder realizar la validación. [5]

6.4 Preparación de muestras

Para las tres técnicas se prepararon las muestras de la siguiente forma variando entre cada una la cantidad de estándar necesario: se calculo y se midió la cantidad del estándar, luego esta cantidad fue aforada hasta 1Litro con agua destilada para el caso de 0,09C y 0,9C, pero en el caso de M1+A1 y M2+A2 se afora con M1 y M2 respectivamente. Excepto BK1, BK2, M1 y M2, de las cuales se tomaron 1Litro sin necesidad de adicionarles estándar.

6.4.1 Preparación de muestras para la alcalinidad

Tabla 4. Preparación de muestras para la alcalinidad

Muestra	Concentración teórica (mg/L)	Volumen de solución estándar (mL)
M1+A1	M1+80 mg/L	3,2 mL
M2+A2	M2+140 mg/L	5,6 mL
0,09C	18 mg/L	0,72 mL
0,9C	180 mg/L	7,2 mL

6.4.2 Preparación de muestras para los cloruros

Tabla 5. Preparación de muestras para los cloruros

Muestra	Concentración teórica (mg/L)	Volumen de solución estándar (mL)
M1+A1	M1+100 mg/L	8 mL
M2+A2	M2+175 mg/L	14 mL
0,09C	22,5 mg/L	1,8 mL
0,9C	225 mg/L	18 mL

6.4.3 Preparación de muestras para la dureza

Tabla 6. Preparación de muestras para la dureza

Muestra	Concentración teórica (mg/L)	Volumen de solución estándar (mL)
M1+A1	M1+120 mg/L	12 mL
M2+A2	M2+210 mg/L	21 mL
0,09C	27 mg/L	2,7 mL
0,9C	270 mg/L	27 mL

6.5 Establecimiento de las curvas de calibración

A partir de las soluciones estándar se realizaron diferentes patrones de cada técnica a analizar, tomando un volumen conocido de la misma solución estándar y después aforándolos a un volumen final de 100 mL.

6.5.1 Preparación de las muestras para la curva de calibración de la alcalinidad

Tabla 7. Preparación de la curva de calibración para la alcalinidad

Concentración en mg/L de CaCO_3	Volumen de solución estándar a tomar (mL)
0	0
10	0,04
20	0,08
30	0,12
40	0,16
50	0,20
50	0,20
60	0,24
70	0,28
75	0,30
80	0,32
90	0,36
100	0,40
125	0,50
150	0,60
175	0,70
200	0,80
225	0,90
250	1,00

6.5.2 Preparación de las muestras para la curva de calibración de los cloruros

Tabla 8. Preparación de la curva de calibración para los cloruros

Concentración en mg/L de Cl^-	Volumen de solución estándar a tomar (mL)
0	0
25	0,20
50	0,40
75	0,60
100	0,80
125	1,00
150	1,20
175	1,40
200	1,60
225	1,80
250	2,00

6.5.3 Preparación de las muestras para la curva de calibración de la dureza

Tabla 9. Preparación de la curva de calibración para la dureza

Concentración en mg/L de CaCO_3	Volumen de solución estándar a tomar (mL)
0	0
25	0,25
50	0,50
75	0,75
100	1,00
125	1,25
150	1,50
175	1,75
200	2,00
225	2,25
250	2,50
300	3,00
350	3,50

6.6 Análisis de las muestras

6.6.1 Alcalinidad

Reactivos

1. H_2SO_4 (0,02N).
2. Indicador mixto (rojo de metilo 0,02% y verde de bromocresol 0,1%)

Procedimiento: alcalinidad indicador mixto

Se toma una muestra de 100 mL, se agregan 5 gotas de indicador mixto, dando una coloración azul clara, se titula con H_2SO_4 (0,02N) hasta viraje de color.

Calculo de la alcalinidad

Alcalinidad a la fenolftaleína= mL H_2SO_4 (0,02N)*10

$$\text{Alcalinidad total} = \frac{A*B*C*1000}{M}$$

Donde:

- A: mL H_2SO_4 (0,02N) gastados.
- B: peso equivalente de CaCO_3 (50g/eq).
- C: concentración del mL H_2SO_4 (0,02N).
- M: volumen de la muestra en mL.
- 1000: factor de conversión a mg por L.

6.6.2 Cloruros

Reactivos

1. Nitrato de plata (AgNO_3): 0,0141N
2. Indicador de Cromato de potasio (5%)

Procedimiento

Se usan porciones de 100mL o una parte alícuota diluida a 100mL (la muestra debe de ser clara). Se ajusta la muestra, por adición de NaOH 0,02N (o H₂SO₄ 0,02N) para que sea apenas incolora a la fenolftaleína (2 gotas). Se agrega 1 mL de indicador de Cromato de potasio y se titula con la solución de nitrato de plata hasta que la solución vire de amarillo al amarillo rojizo.

Se determina el gasto del testigo por titulación de H₂O destilada en la misma forma, este testigo, mostrando coloración del vire, puede ponerse cerca de la muestra a titular para que auxilie a distinguir el cambio de coloración en el vire seleccionado.

$$Cl = (mL \text{ AgNO}_3 \text{ muestra} - mL \text{ AgNO}_3 \text{ testigo}) * (5)$$

$$Cl = \frac{(A - B) * C * D * 1000}{M}$$

Donde:

A: mL AgNO₃ gastados en la muestra.

B: mL AgNO₃ gastados en el testigo.

C: concentración de AgNO₃ (0,0141N).

D: peso equivalente de cloruro (35, 46g/eq).

M: volumen de la muestra (100mL).

1000: factor de conversión (mg/L).

6.6.3 Dureza

Reactivos

1. EDTA (0,01M)
2. Indicador negro de eriocromo (0,5%)
3. Solución buffer(67,5g de NH₄Cl+ 570mL de NH₄OH concentrado + aforando a un litro con agua destilada)

Procedimiento: dureza total

Tomar una muestra de 100mL, agregar 1mL de solución amortiguadora o buffer y mezclar agitando. Agregar 2 o 4 gotas del indicador negro de eriocromo, se titula con la solución de EDTA. Al punto final la solución debe ser clara, y el cambio de color de rojo vivo a azul puro sin que permanezca ningún tinte rojo.

Dureza total= (mL de EDTA)*(10)

$$Dureza\ total = \frac{A * B * C * 1000}{M}$$

Donde:

- A: mL de EDTA gastados.
- B: peso molecular de CaCO_3 (100g/mol).
- C: concentración del EDTA (0,01M).
- M: volumen de la muestra en mL.
- 1000: factor de conversión a mg por L

6.7 Análisis de datos obtenidos

Se realizó un análisis estadístico (Cálculo del coeficiente de variación CV) [6].

6.8 Análisis estadístico

El análisis se realizó con el fin de validar los métodos para la determinación de alcalinidad, cloruros y dureza, algunos parámetros que se tuvieron en cuenta para tal fin son [5]:

- Sensibilidad
- Limite de detección
- Linealidad (LOL)
- Rango útil de trabajo

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La parte experimental consistió en la lectura de las curvas de calibración, las muestras adicionadas, y el posterior registro de los resultados; se hicieron siete lecturas en días alternos

DATOS CURVA DE CALIBRACIÓN Y DATOS EXPERIMENTALES ALCALINIDAD

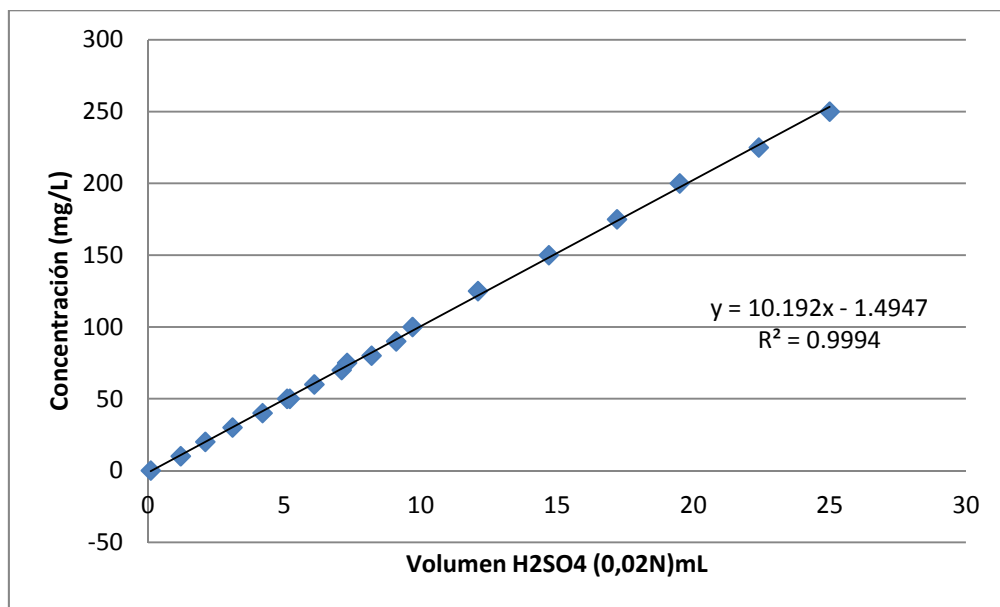
Datos experimentales

La siguiente tabla corresponde a la curva de calibración para la técnica de alcalinidad:

Tabla 10. Curva de calibración para la alcalinidad

Concentración (mg/L)	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
0	0,1
10	1,2
20	2,1
30	3,1
40	4,2
50	5,1
50	5,2
60	6,1
70	7,1
75	7,3
80	8,2
90	9,1
100	9,7
125	12,1
150	14,7
175	17,2
200	19,5
225	22,4
250	25,0

Grafica 1. Curva de calibración para la alcalinidad



ALCALINIDAD Los datos siguientes corresponden a 6 lotes analizados de forma consecutiva diferentes días:

Tabla 11. Lote 1 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H ₂ SO ₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	30,8	3,1
M1+A1	111,5	11,1
M2	28,7	2,9
M2+A2	172	17,1
0,09C	20,7	2,1
0,9C	182,1	18,1

Tabla 12. Lote 2 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	30,8	3,1
M1+A1	110,5	11,0
M2	27,7	2,8
M2+A2	170	16,9
0,09C	20,7	2,1
0,9C	181,1	18,0

Tabla 13. Lote 3 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	31,8	3,2
M1+A1	110,5	11,0
M2	27,7	2,8
M2+A2	170	16,9
0,09C	20,7	2,1
0,9C	181,1	18,0

Tabla 14. Lote 4 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	31,8	3,2
M1+A1	112,5	11,2
M2	29,8	3,0
M2+A2	170	16,9
0,09C	20,7	2,1
0,9C	182,1	18,1

Tabla 15. Lote 5 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	31,8	3,2
M1+A1	112,5	11,2
M2	28,8	2,9
M2+A2	173	17,2
0,09C	20,7	2,1
0,9C	182,1	18,1

Tabla 16. Lote 6 de alcalinidad

	Concentración mg/L	Volumen H₂SO₄ (0,02N)mL
BK1	1,5	0,2
BK2	1,5	0,2
M1	31,8	3,2
M1+A1	112,5	11,2
M2	28,8	2,9
M2+A2	174	17,3
0,09C	21,7	2,2
0,9C	181,1	18,0

Tabla 17. Análisis estadístico de alcalinidad

LOTE	BK1	BK2	M1	M1+A1	M2	M2+A2	0,09C	0,9C
Concentración (mg/L)								
1	1,5	1,5	30,8	111,5	28,7	172	20,7	182,1
2	1,5	1,5	30,8	110,5	27,7	170	20,7	181,1
3	1,5	1,5	31,8	110,5	27,7	170	20,7	181,1
4	1,5	1,5	31,8	112,5	29,8	170	20,7	182,1
5	1,5	1,5	31,8	112,5	28,8	173	20,7	182,1
6	1,5	1,5	31,8	112,5	28,8	174	21,7	181,1
Media	1,5	1,5	31,46667	111,6667	28,58333	171,5	20,86667	181,6
Mediana	1,5	1,5	31,8	112	28,75	171	20,7	181,6
Moda	1,5	1,5	31,8	112,5	27,7	170	20,7	182,1
Desviación estándar	0	0	0,516398	0,983192	0,793515	1,760682	0,408248	0,547723
Varianza de la muestra	0	0	0,266667	0,966667	0,629667	3,1	0,166667	0,3
Mínimo	1,5	1,5	30,8	110,5	27,7	170	20,7	181,1
Máximo	1,5	1,5	31,8	112,5	29,8	174	21,7	182,1
CV	0	0	0,016411	0,008805	0,027761	0,010266	0,019565	0,003016

A continuación define y se ilustra con los datos de la tercera columna (M1) la forma de hallar los datos que se encuentran en la tabla 17.

Media de la muestra \bar{X} : la media de la muestra es la media o promedio de un conjunto finito de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la media para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

$$\bar{X} = \frac{(30,8 + 30,8 + 31,8 + 31,8 + 31,8 + 31,8) \text{ mg/L}}{6}$$

$$\bar{X} = 31,46667 \text{ mg/L}$$

Mediana: la mediana de un conjunto de un conjunto de datos es aquel dato central que divide los datos de la muestra en partes iguales. El propósito de esta medida es identificar la tendencia central de la muestra sin que se vea afectada por los valores extremos. Para calcular la mediana es necesario ordenar los datos de menor a mayor. Si el número de datos es impar, la mediana es el dato central; si el numero de datos es par, la media es la mitad de la adición de de los dos datos centrales.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato de referente a la mediana para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

Primero se organiza los datos de menor a mayor y luego se selecciona los dos datos centrales.

M1 (mg/L)
30,8
30,8
31,8
31,8
31,8
31,8

Ahora se realiza el cálculo correspondiente:

$$\text{Mediana} = \frac{\text{datos centrales}}{2}$$

$$\text{Mediana} = \frac{(31,8 + 31,8) \text{ mg/L}}{2}$$

$$\text{Mediana} = 31,8 \text{ mg/L}$$

Moda: el valor de la característica que más se repite en una población o en una muestra se llama moda de la población o de la muestra, y corresponde al dato con la mayor frecuencia absoluta.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la moda para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

M1 (mg/L)
30,8
30,8
31,8
31,8
31,8
31,8

$Moda = 31,8 \text{ mg/L}$

Desviación estándar: la desviación estándar para una muestra de datos de tamaño limitado viene dada por la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Donde:

$X_i \rightarrow$ Valor i-ésimo medido

$\bar{X} \rightarrow$ Media de la muestra o promedio de un conjunto finito de datos

$N \rightarrow$ Número medidas

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la desviación estándar para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

$$s = \sqrt{\frac{(30,8 - 31,46667)^2 + (30,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2}{6 - 1}}$$

$s = 0,516398 \text{ mg/L}$

Varianza de la muestra:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la varianza de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

$$s^2 = \frac{(30,8 - 31,46667)^2 + (30,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2 + (31,8 - 31,46667)^2}{6 - 1}$$

$$s^2 = 0,266667 \text{ mg/L}$$

Coeficiente de variación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente al coeficiente de variación de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 17:

$$CV = \frac{0,516398 \text{ mg/L}}{31,46667 \text{ mg/L}}$$

$$CV = 0,016411$$

Para los demás datos se realizó de igual forma el cálculo para todos los parámetros estadísticos.

Sensibilidad: Obtenida de la pendiente de la curva de calibración.

Ecuación de la recta de calibración para la alcalinidad $y = 10,192x - 1,4947$.

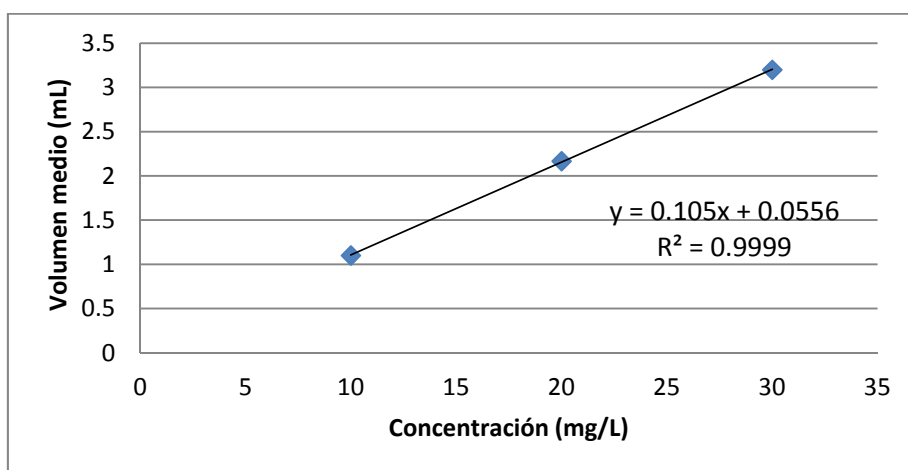
Sensibilidad para la alcalinidad = (10,192 mg/L*mL)

Límite de detección:

Tabla 18. Datos para hallar el límite de detección para la alcalinidad [14]

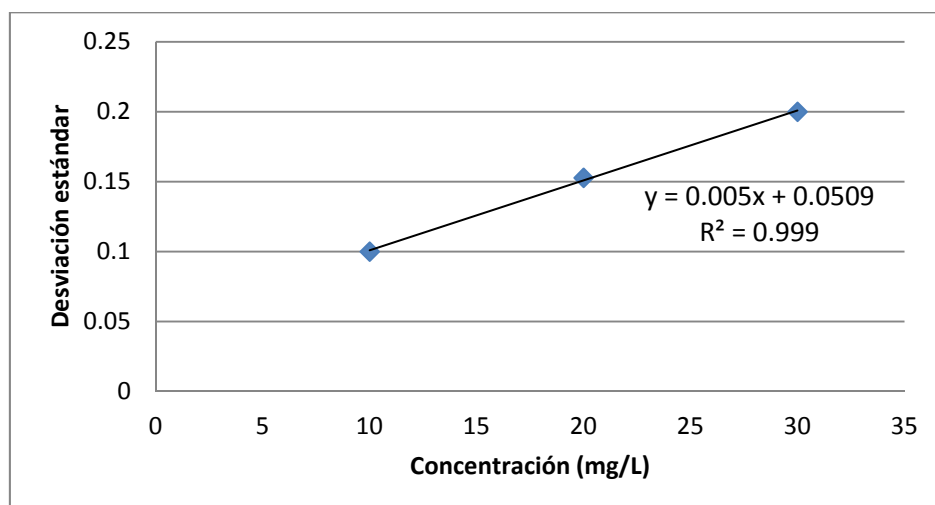
Concentración (mg/L)	Volumen H ₂ SO ₄ (0,02N)mL			Volumen medio	Desviación estándar
10	1,2	1,1	1	1,1	0,1
20	2	2,3	2,2	2,166666667	0,152752523
30	3	3,2	3,4	3,2	0,2

Grafica 2. Concentración Vs Volumen medio para la alcalinidad



De la grafica 2 se toma el valor del intercepto que se nombra como $Y_{bl}=0,0556$.

Grafica 3. Concentración Vs desviación estándar para la alcalinidad



De la gráfica 3 se toma el valor del intercepto que se nombra como $S_{bl}=0,0509$.

Ahora se reemplazan en la formulas siguiente los valores hallados en la grafica 2 y 3 para calcular los límites de detección y de cuantificación:

$$\text{Limite de detección} = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de detección} = \frac{(0,0556 + 3 * 0,0509)}{10,192}$$

$$\text{Limite de detección} = 0,020438$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{(0,0556 + 10 * 0,0509)}{10,192}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = 0,055396$$

Linealidad: El coeficiente de correlación arrojado por las gráficas de calibración para la alcalinidad arrojó un resultado cercano a uno que es el valor ideal indicando una buena relación entre la concentración y volumen H_2SO_4 (0,02N) de las muestras tituladas.

El coeficiente de correlación para el método de la alcalinidad:

$$R^2 = 0,9994$$

$$R = 0,9997$$

$$\text{Coeficiente de correlación para el método de la alcalinidad} = 0.9997$$

Rango útil de trabajo:

$$RU = (LOL) - (LOQ)$$

$$RU = 0,055396\text{mg/L} - 250 \text{ mg/L}$$

Tabla 19. Resumen de parámetros estadísticos para la alcalinidad

Sensibilidad	10,192 (mg/L*mL)
Limite de detección	0,020438 mg/L
Limite de cuantificación	0,055396 mg/L
Coeficiente de correlación	0,9997
Rango útil de trabajo	(0,055396- 250) mg/L

DATOS CURVA DE CALIBRACIÓN Y DATOS EXPERIMENTALES CLORUROS

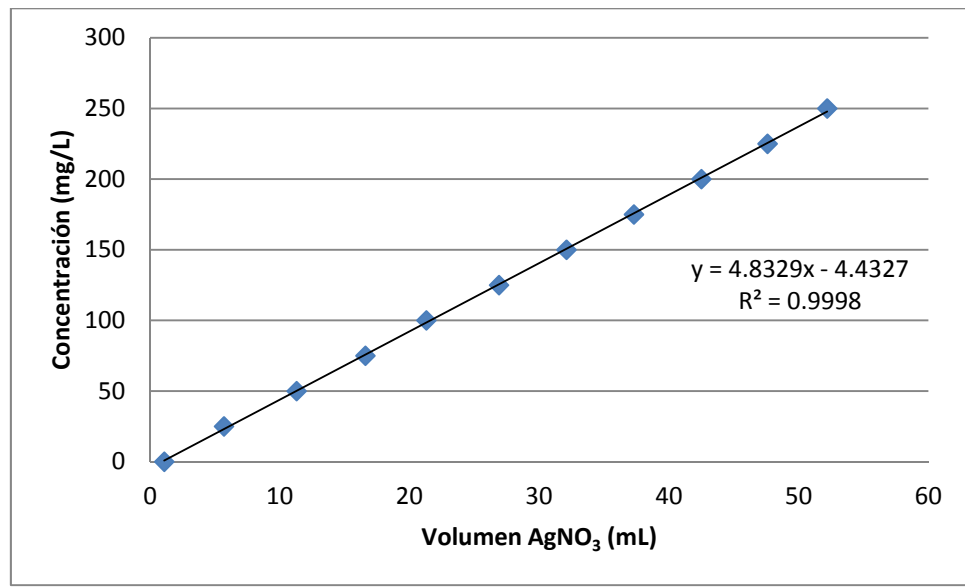
Datos experimentales

La siguiente tabla corresponde a la curva de calibración para la técnica de cloruros:

Tabla 20. Curva de calibración para los cloruros

Concentración (mg/L)	Volumen AgNO₃ (mL)
0	1,1
25	5,7
50	11,3
75	16,6
100	21,3
125	26,9
150	32,1
175	37,3
200	42,5
225	47,6
250	52,2

Grafica 4. Curva de calibración para los cloruros



Los datos siguientes corresponden a 6 lotes analizados de forma consecutiva diferentes días: cloruros

Tabla 21. Lote 1 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO_3 (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	23,6	5,8
M1+A1	123,6	26,5
M2	3,3	1,6
M2+A2	171,5	36,4
0,09C	22,1	5,5
0,9C	215,5	45,5

Tabla 22. Lote 2 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO₃ (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	23,1	5,7
M1+A1	120,2	25,8
M2	3,8	1,7
M2+A2	167,6	35,6
0,09C	22,1	5,5
0,9C	214	45,2

Tabla 23. Lote 3 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO₃ (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	24,1	5,9
M1+A1	117,3	25,2
M2	3,8	1,7
M2+A2	165,7	35,2
0,09C	21,2	5,3
0,9C	212,6	44,9

Tabla 24. Lote 4 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO₃ (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	23,6	5,8
M1+A1	119,3	25,6
M2	3,3	1,6
M2+A2	166,6	35,4
0,09C	21,6	5,4
0,9C	212,1	44,8

Tabla 25. Lote 5 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO₃ (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	23,6	5,8
M1+A1	118,8	25,5
M2	3,8	1,7
M2+A2	167,1	35,5
0,09C	21,6	5,4
0,9C	212,6	44,9

Tabla 26. Lote 6 de cloruros

	Concentración mg/L	Volumen AgNO₃ (0,0141N) mL
BK1	1,8	1,3
BK2	1,3	1,2
M1	21,6	5,4
M1+A1	118,8	25,5
M2	3,8	1,7
M2+A2	166,6	35,4
0,09C	22,1	5,5
0,9C	215	45,4

Tabla 27. Análisis estadístico de cloruros

LOTE	BK1	BK2	M1	M1+A1	M2	M2+A2	0,09C	0,9C
Concentración (mg/L)								
1	1,8	1,3	23,6	123,6	3,3	171,5	22,1	215,5
2	1,8	1,3	23,1	120,2	3,8	167,6	22,1	214
3	1,8	1,3	24,1	117,3	3,8	165,7	21,2	212,6
4	1,8	1,3	23,6	119,3	3,3	166,6	21,6	212,1
5	1,8	1,3	23,6	118,8	3,8	167,1	21,6	212,6
6	1,8	1,3	21,6	118,8	3,8	166,6	20,7	215
Media	1,8	1,3	23,26667	119,6667	3,633333	167,5167	21,55	213,6333
Mediana	1,8	1,3	23,6	119,05	3,8	166,85	21,6	213,3
Moda	1,8	1,3	23,6	118,8	3,8	166,6	22,1	212,6
Desviación estándar	0	0	0,875595	2,14445	0,258199	2,050772	1,412327	1,412327
Varianza de la muestra	0	0	0,766667	4,598667	0,066667	4,205667	1,994667	1,994667
Mínimo	1,8	1,3	21,6	117,3	3,3	165,7	212,1	212,1
Máximo	1,8	1,3	24,1	123,6	3,8	171,5	215,5	215,5
CV	0	0	0,037633	0,01792	0,071064	0,012242	0,006611	0,006611

A continuación define y se ilustra con los datos de la tercera columna (M1) la forma de hallar los datos que se encuentran en la tabla 27.

Media de la muestra \bar{X} : la media de la muestra es la media o promedio de un conjunto finito de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la media para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

$$\bar{X} = \frac{(23,6 + 23,1 + 24,1 + 23,6 + 23,6 + 21,6) \text{ ppm}}{6}$$

$$\bar{X} = 23,26667 \text{ ppm}$$

Mediana: la mediana de un conjunto de un conjunto de datos es aquel dato central que divide los datos de la muestra en partes iguales. El propósito de esta medida es identificar la tendencia central de la muestra sin que se vea afectada por los valores extremos. Para calcular la mediana es necesario ordenar los datos de menor a mayor. Si el número de datos es impar, la mediana es el dato central; si el número de datos es par, la media es la mitad de la adición de los dos datos centrales.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato de referente a la mediana para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

Primero se organiza los datos de menor a mayor y luego se selecciona los dos datos centrales.

M1
21,6
23,1
23,6
23,6
23,6
24,1

Ahora se realiza el cálculo correspondiente:

$$\text{Mediana} = \frac{\text{datos centrales}}{2}$$

$$\text{Mediana} = \frac{(23,6 + 23,6) \text{ mg/L}}{2}$$

$$\text{Mediana} = 23,6 \text{ mg/L}$$

Moda: el valor de la característica que más se repite en una población o en una muestra se llama moda de la población o de la muestra, y corresponde al dato con la mayor frecuencia absoluta.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la moda para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

M1
21,6
23,1
23,6
23,6
23,6
24,1

$$Moda = 23,6 \text{ mg/L}$$

Desviación estándar: la desviación estándar para una muestra de datos de tamaño limitado viene dada por la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \vec{X})^2}{N - 1}}$$

Donde:

$Xi \rightarrow$ Valor i-ésimo medido

$\vec{X} \rightarrow$ Media de la muestra o promedio de un conjunto finito de datos

$N \rightarrow$ Número medidas

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la desviación estándar para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

$$s = \sqrt{\frac{(23,6 - 23,26667)^2 + (23,1 - 23,26667)^2 + (24,1 - 23,26667)^2 + (23,6 - 23,26667)^2 + (23,6 - 23,26667)^2 + (21,6 - 23,26667)^2}{6 - 1}}$$

$$s = 0,875595 \text{ mg/L}$$

Varianza de la muestra:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la varianza de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

$$s^2 = \frac{(23,6 - 23,26667)^2 + (23,1 - 23,26667)^2 + (24,1 - 23,26667)^2 + (23,6 - 23,26667)^2 + (23,6 - 23,26667)^2 + (21,6 - 23,26667)^2}{6 - 1}$$

$$s^2 = 0,766667 \text{ mg/L}$$

Coefficiente de variación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente al coeficiente de variación de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 27:

$$CV = \frac{0,875595 \text{ mg/L}}{23,26667 \text{ mg/L}}$$

$$CV = 0,037633$$

Para los demás datos se realizó de igual forma el cálculo para todos los parámetros estadísticos.

Sensibilidad: Obtenida de la pendiente de la curva de calibración.

Ecuación de la recta de calibración para los cloruros $y = 4,8329x - 4,4327$.

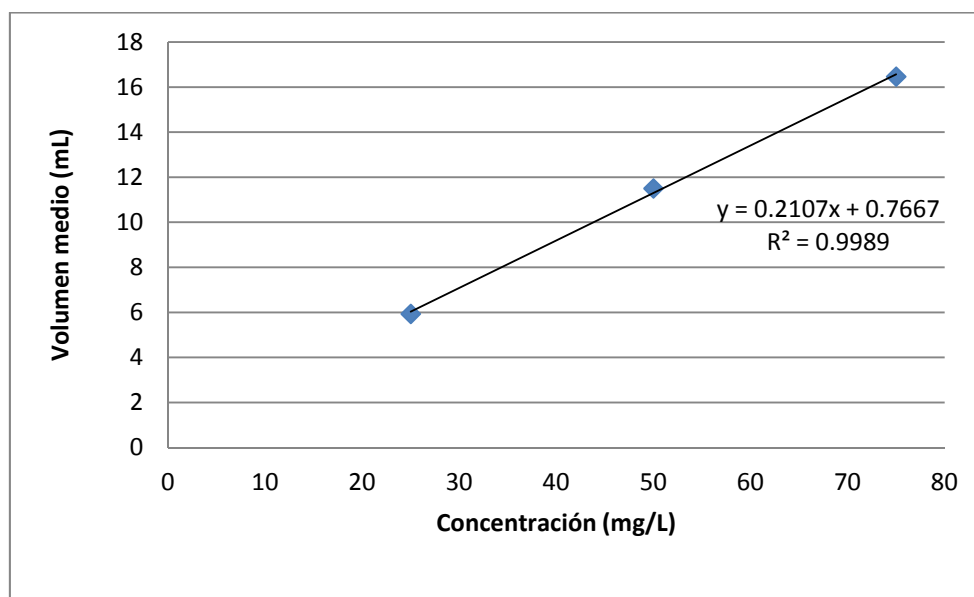
Sensibilidad para la alcalinidad = $(4,8329 \text{ mg/L} \cdot \text{mL})$

Límite de detección:

Tabla 28. Datos para hallar el límite de detección para los cloruros [14]

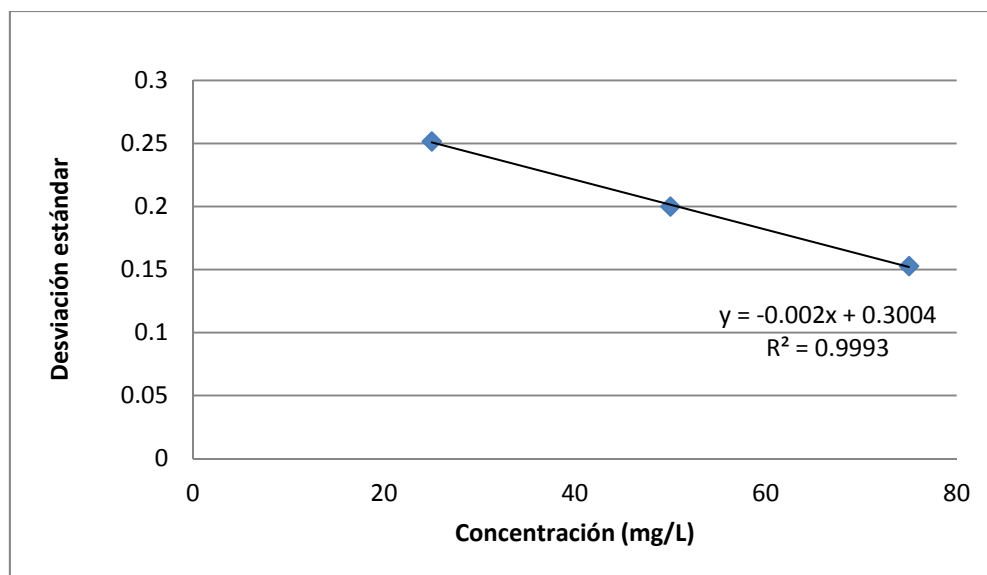
Concentración (mg/L)	Volumen AgNO ₃ (mL)			Volumen medio	Desviación estándar
25	5,7	6,2	5,9	5,933333333	0,251661148
50	11,3	11,7	11,5	11,5	0,2
75	16,3	16,5	16,6	16,46666667	0,152752523

Grafica 5. Concentración Vs Volumen medio para los cloruros



De la grafica 5 se toma el valor del intercepto que se nombra como $Y_{bi}=0,7667$.

Grafica 6. Concentración Vs desviación estándar para los cloruros



De la grafica 6 se toma el valor del intercepto que se nombra como $S_{bl}=0,3004$.

Ahora se reemplazan en la formulas siguiente los valores hallados en la grafica 5 y 6 para calcular los límites de detección y de cuantificación:

$$\text{Limite de detección} = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de detección} = \frac{(0,7667 + 3 * 0,3004)}{4,8329}$$

$$\text{Limite de detección} = 0,345114$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{(0,7667 + 10 * 0,3004)}{4,8329}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = 0,780215$$

Linealidad: El coeficiente de correlación arrojado por la gráfica de calibración para los cloruros arrojó un resultado cercano a uno que es el valor ideal indicando una buena relación entre la concentración y volumen AgNO_3 (0,0141N) de las muestras tituladas.

El coeficiente de correlación para el método de los cloruros:

$$R^2 = 0,9998$$

$$R = 0,9999$$

Coeficiente de correlación para el método de los cloruros= 0,9999

Rango útil de trabajo:

$$RU = (LOL) - (LOQ)$$

$$RU = 0,780215 \text{ mg/L} - 250 \text{ mg/L}$$

Tabla 29. Resumen de parámetros estadísticos para los cloruros

Sensibilidad	4,8329 (mg/L*mL)
Límite de detección	0,345114 mg/L
Límite de cuantificación	0,780215 mg/L
Coeficiente de correlación	0,9999
Rango útil de trabajo	(0,780215 -250) mg/L

DATOS CURVA DE CALIBRACIÓN Y DATOS EXPERIMENTALES DUREZA

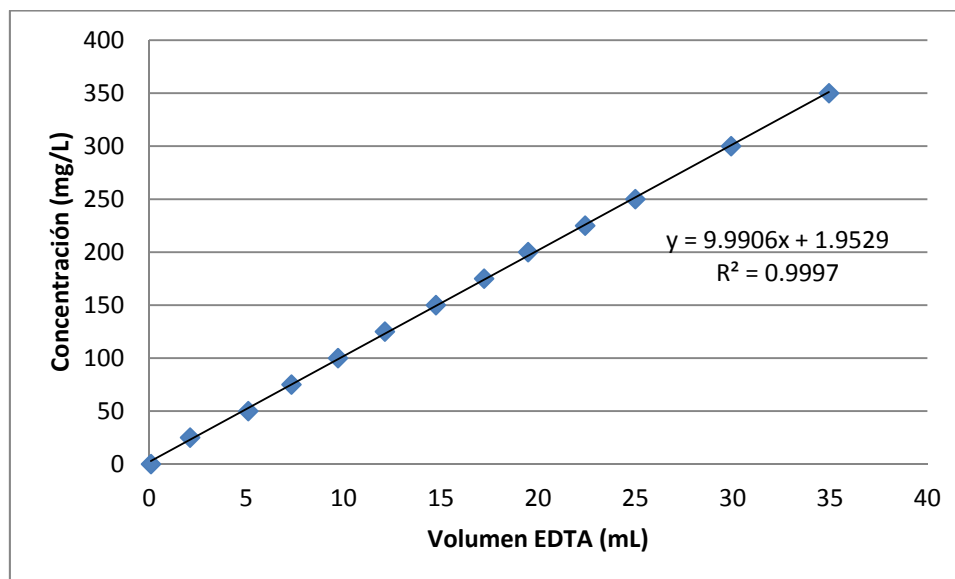
Datos experimentales

La siguiente tabla corresponde a la curva de calibración para la técnica de dureza:

Tabla 30. Curva de calibración para la dureza

Concentración (mg/L)	Volumen EDTA (mL)
0	0,1
25	2,11
50	5,10
75	7,32
100	9,71
125	12,12
150	14,74
175	17,22
200	19,48
225	22,41
250	24,99
300	29,91
350	34,94

Grafica 7. Curva de calibración para la dureza



Los datos siguientes corresponden a 6 lotes analizados de forma consecutiva diferentes días: dureza

Tabla 31. Lote 1 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	73,7	7,51
M1+A1	192,7	19,41
M2	34,3	3,57
M2+A2	242,8	24,72
0,09C	26,8	2,82
0,9C	238,8	25,80

Tabla 32. Lote 2 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	73,9	7,99
M1+A1	192,7	19,41
M2	34,4	3,58
M2+A2	238,5	23,99
0,09C	26,5	2,79
0,9C	258,8	26,02

Tabla 33. Lote 3 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	73,9	7,99
M1+A1	194,4	19,58
M2	34,4	3,58
M2+A2	238,4	23,98
0,09C	26,5	2,79
0,9C	257,4	25,88

Tabla 34. Lote 4 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	73,7	7,51
M1+A1	194,4	19,58
M2	34,3	3,57
M2+A2	242,8	24,42
0,09C	26,8	2,82
0,9C	260,6	26,20

Tabla 35. Lote 5 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	76,6	7,8
M1+A1	196,8	19,82
M2	34,4	3,58
M2+A2	238,5	23,99
0,09C	26,5	2,79
0,9C	260,4	26,18

Tabla 36. Lote 6 de dureza

	Concentración (mg/L)	Volumen EDTA(0,01M)mL
BK1	0,4	0
BK2	0,4	0
M1	73,7	7,51
M1+A1	196,8	19,82
M2	34,3	3,57
M2+A2	242,8	24,42
0,09C	23,9	2,53
0,9C	261,6	26,30

Tabla 37. Análisis estadístico dureza

LOTE	BK1	BK2	M1	M1+A1	M2	M2+A2	0,09C	0,9C
Concentración (mg/L)								
1	0,4	0,4	73,7	192,7	34,3	229,2	27,5	238,8
2	0,4	0,4	73,9	192,7	34,4	233,4	25,1	258,8
3	0,4	0,4	78,2	194,4	34,4	238,4	26,5	257,4
4	0,4	0,4	73,7	191,5	34,3	236,7	26,8	260,6
5	0,4	0,4	76,6	199,5	31,2	238,5	26,8	260,4
6	0,4	0,4	78	196,8	34,3	242,8	26,5	261,6
Media	0,4	0,4	75,68333	194,6	33,81667	240,55	26,53333	256,5
Mediana	0,4	0,4	75,25	193,55	34,3	237,55	26,65	259,6
Moda	0,4	0,4	73,7	192,7	34,3	238,5	26,5	258,8
Desviación estándar	6,08E-17	6,08E-17	2,172019	3,023905	1,282835	2,28976	0,791623	8,739565
Varianza de la muestra	3,7E-33	3,7E-33	4,717667	9,144	1,645667	5,243	0,626667	76,38
Mínimo	0,4	0,4	73,7	191,5	31,2	238,4	25,1	238,8
Máximo	0,4	0,4	78,2	199,5	34,4	242,8	27,5	261,6
CV	1,52E-16	1,52E-16	0,028699	0,015539	0,037935	0,009519	0,029835	0,034072

A continuación define y se ilustra con los datos de la tercera columna (M1) la forma de hallar los datos que se encuentran en la tabla 37.

Media de la muestra \bar{X} : la media de la muestra es la media o promedio de un conjunto finito de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la media para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

$$\bar{X} = \frac{(73,7 + 73,9 + 78,2 + 73,7 + 76,6 + 78)mg/L}{6}$$

$$\bar{X} = 75,68333 mg/L$$

Mediana: la mediana de un conjunto de un conjunto de datos es aquel dato central que divide los datos de la muestra en partes iguales. El propósito de esta medida es identificar la tendencia central de la muestra sin que se vea afectada por los valores extremos. Para calcular la mediana es necesario ordenar los datos de menor a mayor. Si el número de datos es impar, la mediana es el dato central; si el numero de datos es par, la media es la mitad de la adición de de los dos datos centrales.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato de referente a la mediana para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

Primero se organiza los datos de menor a mayor y luego se selecciona los dos datos centrales.

M1
73,7
73,7
73,9
76,6
78
78,2

Ahora se realiza el cálculo correspondiente:

$$Mediana = \frac{\text{datos centrales}}{2}$$

$$Mediana = \frac{(73,9 + 76,6) \text{ mg/L}}{2}$$

$$Mediana = 75,25 \text{ mg/L}$$

Moda: el valor de la característica que más se repite en una población o en una muestra se llama moda de la población o de la muestra, y corresponde al dato con la mayor frecuencia absoluta.

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la moda para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

M1
73,7
73,7
73,9
76,6
78
78,2

$$Moda = 73,7 \text{ mg/L}$$

Desviación estándar: la desviación estándar para una muestra de datos de tamaño limitado viene dada por la ecuación:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

Donde:

$X_i \rightarrow$ Valor i-ésimo medido

$\bar{X} \rightarrow$ Media de la muestra o promedio de un conjunto finito de datos

$N \rightarrow$ Número medidas

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la desviación estándar para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

$$s = \sqrt{\frac{(73,7 - 75,68333)^2 + (73,9 - 75,68333)^2 + (78,2 - 75,68333)^2 + (73,7 - 75,68333)^2 + (76,6 - 75,68333)^2 + (78 - 75,68333)^2}{6 - 1}}$$

$$s = 2,172019 \text{ mg/L}$$

Varianza de la muestra:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{X})^2}{N - 1}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente a la varianza de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

$$s^2 = \frac{(73,7 - 75,68333)^2 + (73,9 - 75,68333)^2 + (78,2 - 75,68333)^2 + (73,7 - 75,68333)^2 + (76,6 - 75,68333)^2 + (78 - 75,68333)^2}{6 - 1}$$

$$s^2 = 4,717667 \text{ mg/L}$$

Coefficiente de variación:

$$CV = \frac{S}{\bar{X}}$$

A continuación se expone un ejemplo para calcular el dato referente al coeficiente de variación de la muestra para M1 cuyo resultado se encuentra en la tabla 37:

$$CV = \frac{2,172019 \text{ ppm}}{75,68333 \text{ ppm}}$$

$$CV = 0,028699$$

Para los demás datos se realizó de igual forma el cálculo para todos los parámetros estadísticos.

Sensibilidad: Obtenida de la pendiente de la curva de calibración.

Ecuación de la recta de calibración para la alcalinidad $y = 9,9906x + 1,9529$.

Sensibilidad para la alcalinidad = $9,9906(\text{mg/L} \cdot \text{mL})$

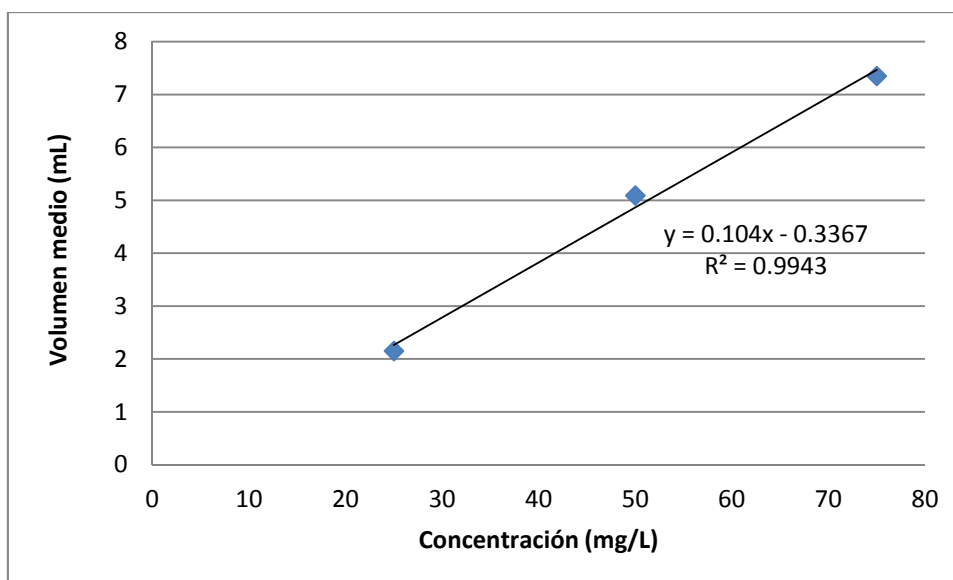
Limite de detección:

Tabla 38. Datos para hallar el límite de detección para los cloruros [14]

Concentración (ppm)	Volumen EDTA(0,01M)mL			Volumen medio	Desviación estándar
25	2,11	2,15	2,19	2,15	0,04
50	5,1	5,05	5,12	5,09	0,036055513
75	7,32	7,38	7,35	7,35	0,03

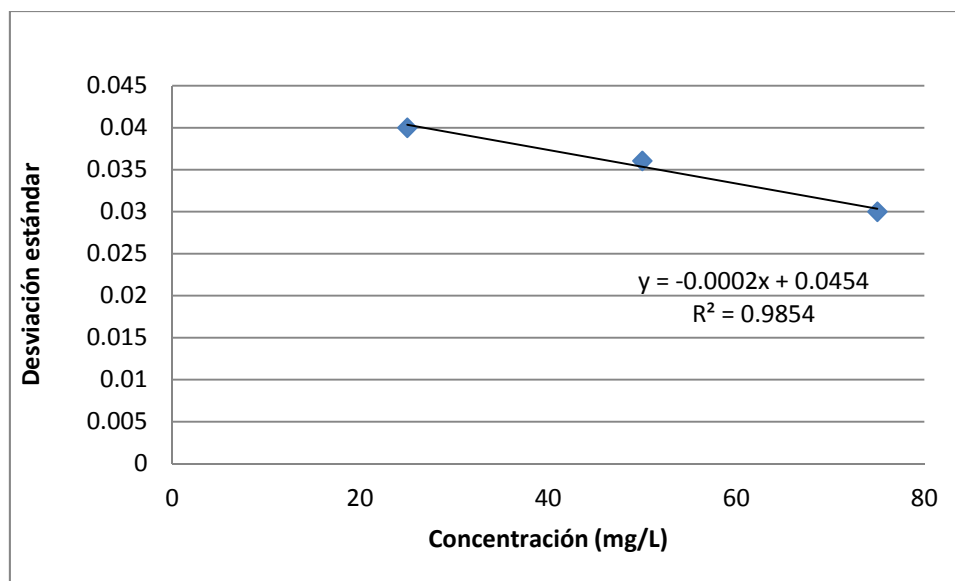
[14]

Grafica 8. Concentración Vs Volumen medio para la dureza



De la grafica 8 se toma el valor del intercepto que se nombra como $Y_{bi}=0,3367$.

Grafica 9. Concentración Vs desviación estándar para la dureza



De la grafica 9 se toma el valor del intercepto que se nombra como $S_{bl}=0,0454$.

Ahora se reemplazan en la formulas siguiente los valores hallados en la grafica 8 y 9 para calcular los límites de detección y de cuantificación:

$$\text{Limite de detección} = \frac{Y_{bl} + 3S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de detección} = \frac{(0,3367 + 3 * 0,0454)}{9,9906}$$

$$\text{Limite de detección} = 0,047334$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{Y_{bl} + 10S_{bl}}{b}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = \frac{(0,3367 + 10 * 0,0454)}{9,9906}$$

$$\text{Limite de cuantificación} = 0,079144$$

Linealidad: El coeficiente de correlación arrojado por la gráfica de calibración para la dureza arrojó un resultado cercano a uno que es el valor ideal indicando una buena relación entre la concentración y volumen EDTA (0,01M) de las muestras tituladas.

El coeficiente de correlación para el método de dureza:

$$R^2 = 0,9997$$

$$R = 0,9998$$

Coeficiente de correlación para el método de dureza= 0.9998

Rango útil de trabajo:

$$RU = (LOL) - (LOQ)$$

$$RU = 0.079144 \text{ mg/L} - 350 \text{ mg/L}$$

Tabla 39. Resumen de parámetros estadísticos para la dureza

Sensibilidad	9,9906 (mg/L*mL)
Limite de detección	0,047334 mg/L
Limite de cuantificación	0,079144 mg/L
Coeficiente de correlación	0,9998
Rango útil de trabajo	(0,079144 -350)mg/L

8. CONCLUSIONES

- Se validó los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en agua en la planta de tratamiento de EMPOBAL (Santa Rosa de Cabal) en agua tratada y cruda.
- Se determinaron los parámetros estadísticos para el ensayo de alcalinidad obteniendo los siguientes resultados: sensibilidad 10,192 (mg/L *mL), límite de detección 0,020438 mg/L, límite de cuantificación 0,055396 mg/L, coeficiente de correlación 0,9997 y rango de útil de trabajo (0,055396 - 250) mg/L.
- Se determinaron los parámetros estadísticos para el ensayo de cloruros obteniendo los siguientes resultados: sensibilidad 4,8329 (mg/L*mL), límite de detección 0,345114 mg/L, límite de cuantificación 0,780215 mg/L, coeficiente de correlación 0,9999 y rango de útil de trabajo (0,780215 -250) mg/L.
- Se determinaron los parámetros estadísticos para el ensayo de dureza obteniendo los siguientes resultados: sensibilidad 9,9906 (mg/L*mL), límite de detección 0,020438 mg/L, límite de cuantificación 0,079144 mg/L, coeficiente de correlación 0,9998 y rango de útil de trabajo (0,079144 -350) mg/L.
- Los coeficientes de variaciones arrojados demuestran que los ensayos son preciso debido a que no sobrepasan el límite (5%), demostrando que las técnicas son reproducibles y repetitivas.
- De acuerdo con los coeficientes de correlación obtenidos en las curvas de calibración para los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza, nos confirma estas técnicas tienen una buena sensibilidad.
- Se evidencio que para los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza se tiene un amplio rango útil de trabajo
- De acuerdo con los límites de detección y de cuantificación obtenidos para los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza, los métodos empleados son altamente confiables debido a que las técnicas permiten determinar bajas concentraciones de los analitos en estudio, los cuales cumplen con los rangos requeridos por la resolución que rige el agua tratada, evitando así falsos resultados
- Con la implementación de las técnicas y sus validaciones se permite la obtención de resultados confiables respaldados por procedimientos validados, mejorando la calidad de los procedimientos en el laboratorio de EMPOCABAL (Santa Rosa de Cabal).
- De acuerdo con la pendiente obtenida en las curvas de calibración, se concluyó que los métodos tienen una muy buena sensibilidad para la determinación los ensayos de alcalinidad, cloruros y dureza en agua.

9. RECOMENDACIONES

Realizar la validación de los ensayos para las muestras de aguas naturales en época de invierno, ya que esta hace que se presente interferencias en el punto final del análisis de la muestra

Se debe lavar muy bien el material de trabajo, para evitar alguna contaminación externa, ya que estas interfieren al momento de la lectura para esto es necesario lavar todo el material tanto de vidrio como de plástico con ácido nítrico y con suficiente agua destilada.

Se debe seguir con el protocolo de validación para una técnica analítica para evitar posibles errores que influyan en el análisis de la misma

Al instante de realizar titulaciones de las muestras tratar de realizarlas bajo las mismas condiciones de trabajo para disminuir errores

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] PEREZ PARRA, JORGE ARTURO. Manual de potabilización del agua. 3ed Medellín, 1997, 3-20p

[2] Importancia del Agua para la Vida
<http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculums/agua/act1ante.html>

[3] Londoño, Carlos Alberto. Manual de métodos analíticos planta de tratamiento Empocabal 2ed, 2004

[4] Decreto 1575 de 2007 resolución 2115, artículo 5. Características químicas de sustancias que tiene reconocido efecto adverso en la salud humana. Vista en la página
http://www.unimeta.edu.co/fileadmin/user_upload/documentos/Consultorio_Ambiental/Normatividad/RESOLUCION_2115_AGUA_POTABLE.pdf

[5] ORTIZ Jaime E, PENARANDA Saúl A, PALMA Ruth M, PUENTES William, MURILLO Carmenza y NAVA Gerardo. Sexto curso- taller validación de métodos analíticos. Bogotá D.C., 2004, 13-19 p.

[6] SKOOG, Douglas A, HOLLER, F. James y NIEMAN, Timothy A. Análisis Instrumental. 5ed.España: Concepción Fernández Madrid, 2001, 919-939 p. ISBN0-03-002078-6.g

[7] <http://www.empocabal.com.co/> Página de Empocabal

[8] SPELLMAN Frank R, DRINAN Joanne. Manual Del Agua Potable. Editorial ACRIBIA, S.A. ZARAGOSA (España), 50-52 p.

[9] DEGREMONT. Manual técnico del agua 4ed (1973). España, 3-4 p.

[10] ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Editorial asociación colombiana de ingeniería sanitaria y ambiental 'ACODAL', 31p.

[11] Orellana, Jorge A. Características del agua potable. Unidad temática N° 3. Ingeniería sanitaria UTN – FRRO. Versión 2005. Documento en Pdf.

[12] <http://www.eurachem.org/guides/pdf/valid.pdf>

[13] Coy, Gustavo Alfonso. Protocolo de estandarización de métodos analíticos noviembre 1999 instituto de hidrología, meteorología y estudio ambientales. IDEAM.

[14] Quattrocchi, O. A., Abelaira S, Lara R.F “Introducción a la HPLC”. Aplicación y práctica. 1992. 323p.